

REAS ČR VSE, ZSE a ČEPS	<b>VÝPOČETNÍ HODNOCENÍ ZPĚTNÝCH VLIVŮ ODBĚRATELŮ A ZDROJŮ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV</b>	<b>PNE 33 3430-0</b>
<p><b>Předmluva</b></p> <p>Tato norma platí pro plánování připojování a provozování elektrických zařízení distribučních soustav nn, vn a 110 kV z hlediska vlivu na elektrizační soustavu 50 Hz a zařízení hromadného dálkového ovládání. Tato norma neplatí pro spotřebiče pro domácnost, pro které platí ČSN EN 61000-3-2.</p> <p><b>Citované normy a doporučení</b></p> <p>[1] ČSN 33 0120 Normalizovaná napětí IEC (mod HD 472 S1:1989+A1:1995)</p> <p>[2] ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě (33 0122)</p> <p>[3] ČSN EN 61000-2-2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 2-2: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí (33 3432)</p> <p>[4] ČSN EN 61000-2-4: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 2: Prostředí Oddíl 4: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech (33 3432)</p> <p>[5] ČSN EN 61000-2-6: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 2: Prostředí Oddíl 6: Určování úrovně emise nízkofrekvenčních rušení šířených vedením v síťovém napájení průmyslových závodů (33 3432)</p> <p>[6] IEC 61000-2-12: Electromagnetic Compatibility (EMC)- Part 2-2 Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems – Technical specification, 1998</p> <p>[7] ČSN EN 61000-3-2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-2: Meze – Meze pro emise harmonického proudu (zařízení se vstupním fázovým proudem do 16 A včetně) (33 3432)</p> <p>[8] ČSN EN 61000-3-3: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 3 Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem <math>\leq 16</math> A (33 3432)</p> <p>[9] ČSN IEC 61000-3-4: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 3-4: Omezování emise harmonických proudů v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem větším než 16 A (33 3432)</p> <p>[10] ČSN IEC 1000–3–5: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 3: Meze Oddíl 5: Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem větším než 16 A (33 3431)</p>		
Nahrazuje: PNE 33 3430-0 15.5.1998 -----		Účinnost od :1.4.2003

- [11] IEC/TR3 61000-3-6:1996 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3: Limits - Section 6: Limitation of emission of harmonic currents for equipments connected to medium and high voltage power supply systems - Technical report type II, 1995
- [12] IEC/TR3 61000-3-7:1996 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3: Limits - Section 7: Limitation of voltage fluctuations and flicker for equipments connected to medium and high voltage power supply systems - Technical report type II, 1995
- [13] ČSN EN 61000-3-11: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) -Část 3-11: Meze - Omezování změn napětí, kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích nízkého napětí - Zařízení se jmenovitým proudem  $\leq 75$  A, které je předmětem podmíněného připojení (33 3432)
- [14] IEC 61400-21: Wind Turbine Generator Systems. Part 21: Power quality requirements for grid connected wind turbines
- [15] PNE 33 3430-1: Parametry kvality elektrické energie. Část 1: Harmonické
- [16] PNE 33 3430-2: Parametry kvality elektrické energie, Část 2: Kolísání napětí
- [17] PNE 33 3430-3: Parametry kvality elektrické energie. Část 3: Nesymetrie napětí
- [18] PNE 33 3430-4: Parametry kvality elektrické energie. Část 4: Poklesy a krátká přerušení napětí
- [19] PNE 33 3430-6: Omezení zpětných vlivů na zařízení hromadného dálkového ovládání
- [20] Grundsätze für die Beurteilung von Netzurückwirkungen, VDEW, 3.Ausgabe, 1992 (Zásady pro posuzování zpětných vlivů na síť, VDEW, 3. vydání, 1992)
- [21] Empfehlung für die Beurteilung von Netzurückwirkungen, VÖE, VSE, UCS, 2.Ausgabe, 1997 (Doporučení pro posuzování zpětných vlivů na síť, VÖE, VSE, UCS, 2. vydání, 1997)
- [22] VDEW, VEÖ, VSE, VCS Empfehlungen zur Vermeidung unzulässiger Rückwirkungen auf die Tonfrequenz-Rundsteuerung. (Doporučení VDEW, VEÖ, VSE, VCS pro zamezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání)
- [23] Richtlinie für den Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Niederspannungsnetz des Elektrizitätsunternehmens (EVU), VWEW
- [24] Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz VDEW
- [25] ČSN EN 60909-0: Výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách (33 3022)
- [26] ČSN 33 3022 HD 533 S1: 1996 Výpočet zkratových proudů ve trojfázových střídavých soustavách (mod IEC 909 1988)
- [27] ČSN 35 1130: Trojfázové olejové říditelné výkonové transformátory, 1974 (zrušena bez náhrady)
- [28] ČSN 35 1121: Trojfázové olejové distribuční transformátory 50 Hz od 50 do 2 500 kVA a s nejvyšším napětím pro zařízení nepřevyšujícím 36 kV. Část 1: Všeobecné požadavky a požadavky na transformátory s nejvyšším napětím pro zařízení nepřevyšujícím 24 kV, 1996
- [29] PNE 38 2530: Hromadné dálkové ovládání, automatiky, vysílače a přijímače.

### **Vypracování normy**

Zpracovatelé: Ing. Karel Procházka, CSc., Ing. Jaroslav Hanzlík, CSc.

EGC- EnerGoConsult, s.r.o. Č. Budějovice,

Pracovník ONS odvětví energetiky: Ing. Jaroslav Bárta ÚJV Řež, a.s. divize Energoprojekt  
Praha

## OBSAH

1.	NÁZVY A DEFINICE .....	5
2.	VŠEOBECNĚ.....	6
3.	ÚDAJE O SÍTI .....	7
3.1	Výpočet zkratového výkonu (impedance) ve společném napájecím bodě "V" .....	7
3.1.1	Impedance v nadřazeném síťovém bodě "Q". .....	8
3.1.2	Impedance transformátorů .....	8
3.1.3	Impedance vedení .....	9
3.1.4	Synchronní stroje .....	11
3.1.5	Asynchronní stroje.....	12
4.	KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ .....	12
4.1	Výpočet relativní změny napětí "d" .....	13
4.2	Výpočet míry vjemu flikru P .....	13
4.2.1	Skládání flikru z různých zdrojů .....	14
4.2.2	Šíření flikru.....	14
4.3	Postup při posuzování přípustnosti připojení .....	15
4.3.1	Odběry připojované do sítí nn .....	15
4.3.2	Posuzování připojitelnosti v sítích vn a 110 kV .....	20
4.3.2.1	Etapa 1: Zjednodušené vyhodnocení rušivého kolísání napětí.....	20
4.3.2.2	Etapa 2 Připojitelnost podle výpočtu rušivých vlivů.....	20
4.3.2.3	Etapa 3 Připojitelnost s vyššími dovolenými hladinami rušení.....	22
4.4	Příklady.....	22
4.4.1	Rozběh motoru .....	22
4.4.2	Střídavá motorická zátěž .....	23
4.4.3	Připojení blokové teplárny.....	24
4.5	Opatření na zmírnění kolísání napětí.....	26
5.	NESYMETRIE NAPĚTÍ.....	26
5.1	Všeobecné.....	26
5.2	Výpočet stupně nesymetrie napětí U(2).....	27
5.3	Přípustné hodnoty nesymetrie napětí .....	27
6.	HARMONICKÉ .....	27
6.1	Výpočet impedancí sítí na tónových frekvencích.....	28
6.1.1	Impedance v nadřazeném síťovém bodu "Q" .....	28
6.1.2	Impedance transformátorů .....	29
6.1.3	Podélná impedance vedení .....	29
6.1.4	Příčná impedance vedení a kondenzátorů.....	30
6.1.5	Impedance zátěže sítě .....	30
6.1.6	impedance průmyslových sítí .....	30
6.2	Proudy emitované do sítě.....	30
6.2.1	Proudy emitované do sítě usměřovači .....	30
6.2.1.1	Usměřovače s induktivní filtrací.....	31
6.2.1.2	Usměřovače s kapacitní filtrací .....	31
6.2.2	Jednofázové a třífázové ovladače .....	32
6.3	Činitel soufáznosti .....	32
6.4	Stanovení povoleného příspěvku odběratele k znečištění sítě harmonickými .....	32
6.5	Výpočet úrovně harmonických.....	33
6.5.1	Příklad připojení pohonu řízeného měničem frekvence na síť 22 KV .....	35

6.6	Meziharmonické.....	40
6.6.1	Přípustné úrovně .....	40
6.7	Zařízení pro výrobu elektrické energie .....	41
6.7.1	Sítě nn .....	41
6.7.2	Sítě vn .....	41
6.8	Zpětné vlivy na zařízení HDO a rušení signálem HDO .....	43
7.	VÝPOČETNÍ PROGRAMY PRO URČENÍ ZPĚTNÝCH VLIVŮ.....	44

## 1. NÁZVY A DEFINICE

- 1.1 **zpětné vlivy**: rušivé vlivy, kterými se může projevovat zařízení připojené k distribuční síti a které mohou ovlivňovat nežádoucím způsobem ostatní odběratele sítě
- 1.2 **elektromagnetická kompatibilita (EMC)**: schopnost elektrického zařízení uspokojivě pracovat v jeho elektromagnetickém prostředí, aniž samo nepřípustně ovlivní toto prostředí, ke kterému též patří další zařízení
- 1.3 **(elektromagnetická) kompatibilní úroveň**: předepsaná úroveň elektromagnetického rušení použitá jako referenční úroveň pro koordinaci stanovení mezí emise a odolnosti
- 1.4 **mezní velikost rušení**: stanovená hodnota rušivého vlivu, která slouží ke koordinaci EMC v distribučních sítích. Cílem koordinace EMC je zajistit, aby při společném působení všech zdrojů rušení v síti byly zaručeny hladiny kompatibility
- 1.5 **plánovací úroveň**: úroveň konkrétního rušení v konkrétním prostředí, převzatá jako referenční hodnota pro stanovení mezí emisí z velkých zátěží a instalací tak, aby koordinovala tyto meze se všemi mezemi převzatými pro zařízení určené k připojení do rozvodné napájecí sítě  
 POZNÁMKA Plánovací úroveň je specifická pro místo v rozvodné síti a je schválena organizací odpovědnou za projektování a provoz rozvodné sítě v příslušné oblasti.
- 1.6 **společný napájecí bod rozvodné soustavy (zkratka PCC)**: bod veřejné rozvodné sítě elektricky nejbližší příslušnému odběrateli, ve kterém je nebo může být připojen jiný odběratel
- 1.7 **změna napětí  $\Delta U$** : změna efektivní (nebo maximální) hodnoty napětí mezi dvěma po sobě jdoucími úrovněmi, které trvají určitou, avšak nestanovenou dobu
- 1.8 **relativní změna napětí  $dU$** : poměr změny napětí k jmenovité hodnotě napětí
- 1.9 **flikr (blikání)**: pocit nestálého zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase
- 1.10 **míra vjemu blikání P**: nepříznivý vjem flikru vyhodnocený způsobem podle článku 4.1
- 1.11 **nesymetrie napětí**: stav mnohafázové sítě, při kterém nejsou stejné efektivní hodnoty fázových napětí nebo rozdíly fázových úhlů mezi po sobě jdoucími následnými fázemi
- 1.12 **paralelní rezonanční frekvence**: frekvence při níž impedance sítě vykazuje maximum
- 1.13 **rušivé signály**: napětí s frekvencí rozdílnou od frekvence sítě superponované na základní harmonickou napětí sítě, které může v elektrickém zařízení ( na př. přijímači HDO ap.) vyvolat nežádoucí ovlivnění
- 1.14 **činitel soufáznosti**: činitel, který vyjadřuje skutečnost, že geometrický součet harmonických stejného řádu může být v důsledku jejich různé fáze menší, než jejich aritmetický součet

## 2. VŠEOBECNĚ

Technický rozvoj, mající za cíl zvyšovat užitnou hodnotu a hospodárnost elektrických zařízení, vede v průmyslu, drobném podnikání, zemědělství a také v domácnostech ke stále výraznějšímu používání zařízení a přístrojů s nelineárními nebo proměnlivými provozními charakteristikami. Tímto vývojem jsou pak podmíněny v rostoucí míře se uplatňující zpětné vlivy na distribuční sítě, které mohou za určitých okolností vést k rušivému ovlivnění jiných přístrojů, provozovaných v téže síti.

K snížení těchto vlivů na únosnou míru, je zapotřebí při projektování, připojování do sítě a při provozu zařízení odběratelů (i zdrojů) respektovat mezní hodnoty zpětných vlivů na síť, a to i při uvažování součtového vlivu rušení všech zařízení, která mohou být v síti provozována současně. Odtud vyplývá, že jednotlivý odběratel (zdroj) může způsobit pouze část z celkově přípustného zpětného vlivu.

Je tedy zřejmé, že při posuzování vlivu zařízení na napájecí energetickou síť nepostačí respektovat pouze základní předpis [1], který se týká výlučně jmenovitých napětí a jejich tolerancí za normálních pracovních podmínek a neumožňuje posuzování rušivých vlivů.<sup>1</sup>

Kompatibilní (dovolené) hladiny rušení jednotlivými vlivy uvádí pro veřejné sítě nn, vn a průmyslové závody normy [3] až [13], charakteristické parametry napětí ve společných napájecích bodech odběratelů sítí nn a vn norma [2].

Tyto předpisy se zabývají těmito vlivy a jejich hladinami pro:

- harmonické,
- meziharmonické,
- kolísání napětí,
- poklesy a přerušování napětí,
- nesymetrie napětí,
- přenos signálů po vedení,
- kolísání síťového kmitočtu

Z hladin těchto vlivů pro síť jako celek je zapotřebí odvodit možný příspěvek jednotlivého odběratele k jednotlivým rušivým vlivům a jeho podíl na celkové hladině.

Ve vztahu k harmonickým platí pro zařízení, která se připojují do sítí nn bez schválení energetického podniku norma [7], pro kolísání napětí [8].

U ostatních zařízení v sítích nn a zařízení, připojených přímo do sítí vn a vvn, je v zásadě potřeba jednotlivý souhlas rozvodného podniku. Pro harmonické i kolísání napětí jsou k dispozici normy a mezinárodní doporučení i pro některé další typy zařízení připojovaných do sítí nn i vn [9] až [14].

Z těchto a dalších podkladů byly pro naše podmínky rozpracovány podnikové normy [15] až [19].

Protože u zpětných vlivů zařízení na ostatní odběratele jde o vzájemné působení odběratele a sítě, jejich posouzení musí nutně vycházet jak ze znalosti zařízení odběratele, tak i síťových poměrů.<sup>2</sup>

Dále uvedené způsoby výpočtu a příklady jejich použití vycházejí především z [11], [12] a [20] až [24].

<sup>1</sup> Pro jmenovitá napětí do 1 kV [1] doporučuje, aby se napětí na přívodních svorkách nelišilo od jmenovitého napětí více než o  $\pm 10\%$ . Přitom v přechodném období (původně do konce r. 2003, nyní toto období prodlouženo do konce r. 2008) tato doporučená hodnota nemá přesáhnout 6 % -10 %.

<sup>2</sup> Z uváděných rušivých veličin se norma nezabývá kolísáním frekvence, protože na ni nemá jednotlivý odběratel ve spojené elektrizační soustavě žádný vliv.

### 3. ÚDAJE O SÍTI

Rozhodující úlohu při zpětných vlivech má vnitřní impedance soustavy v místě připojení odběratele, poněvadž určuje jak napěťovou citlivost na změny zatížení a jeho nesymetrii, tak i úbytky vyvolané proudy harmonických nelineárních odběrů nebo místních zdrojů.

Pro dimenzování zařízení na účinky zkratových proudů je soustava obvykle charakterizována maximálním zkratovým proudem  $I''_{kQ}$  nebo výkonem  $S''_{kQ}$ . Tyto hodnoty jsou v energetických podnicích běžně dostupné a z nich je možné i určit minimální impedanci soustavy. Vztah mezi  $I''_{kQ}$ ,  $S''_{kQ}$  a impedancí soustavy je v místě Q (podle [25] pro elektricky vzdálené zkraty v distribučních soustavách):

$$Z''_{kQ} = \frac{c \cdot U_n^2}{S''_{kQ}} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \quad (1)$$

kde  $S''_{kQ}$  je počáteční rázový (souměrný) zkratový výkon (zdánlivý),

$c$  je napěťový součinitel ekvivalentního napětového zdroje,<sup>3</sup>

$U_n$  je jmenovité napětí soustavy, sdružené (efektivní),

$Z''_{kQ}$  je impedance v místě Q<sup>4</sup>,

$I''_{kQ}$  je počáteční rázový souměrný zkratový proud (efektivní)

Pro tlumení zpětných vlivů na síť jsou však určující minimální hodnoty těchto proudů nebo výkonů při symetrických bezodporových zkratech (a jim odpovídající maximální impedance soustavy), které již běžně dostupné nejsou.<sup>5</sup>

Při určení minimálních proudů (výkonů) pro posuzování zpětných vlivů proto doporučujeme vycházet z upravených hodnot  $S_{kQ}$  resp.  $I_{kQ}$  nebo  $Z_{kQ}$  podle vztahu:

$$S_{kQ} = \frac{S''_{kQ}}{c} = \sqrt{3} \cdot U_{nQ} \cdot \frac{I''_{kQ}}{c} = c \cdot \frac{U_{nQ}^2}{Z_{kQ}} \quad (2)$$

#### 3.1 VÝPOČET ZKRATOVÉHO VÝKONU (IMPEDANCE) VE SPOLEČNÉM NAPÁJECÍM BODĚ "V"

Pokud je bod sítě Q se známými zkratovými parametry i společným napájecím bodem "V", pak i platí že zkratový výkon  $S_{kV} = S_{kQ}$ . V ostatních případech se vypočte zkratový výkon  $S_{kV}$  z činné složky  $R_{kV}$  a induktivní složky  $X_{kV}$  impedance sítě ve společném napájecím bodě "V". Tyto složky dostaneme součtem impedance v bodě "Q" a výsledné impedance transformátorů a vedení mezi body "Q" a "V".

Ze známé velikosti  $Z_{kV}$  pak lze určit zkratový výkon  $S_{kV}$  dosazením do vztahu (2).

**Při poměru mezi zkratovým výkonem  $S_{kV}$  a připojovaným výkonem odběrů  $\geq 1000$ ; u zdrojů  $\geq 500$ , je připojení s ohledem na zpětné vlivy bez dalších úvah možné.**

**Orientačně lze na straně druhé očekávat, že při tomto poměru menším než 20 nelze dosáhnout uspokojivého provozu ani při využití přídavných kompenzačních zařízení.**

**Řešení je pak všeobecně pouze v připojení v bodě s vyšším zkratovým výkonem.<sup>6</sup>**

<sup>3</sup> Velikost napěťového součinitele  $c$  se podle [26] volí pro naše sítě nn 1.05 při určování maximálního a 0.95 při určování minimálního zkratového proudu, v sítích vn a vvn jsou hodnoty  $c_{max} = 1.1$  a  $c_{min} = 1.0$ .

<sup>4</sup> U nadřazené sítě lze obvykle zanedbat činnou složku impedance sítě.

<sup>5</sup> Určení minimální skutečné impedance soustavy by vyžadovalo např. respektovat možné změny v konfiguraci, nasazení zdrojů, uvažovat činné odpory prvků soustavy pro vyšší teploty ap.

<sup>6</sup> Možnosti stanovení požadovaných poměrů  $S_{kV}/S_{odb}$  od kterých není zapotřebí podrobné vyšetřování poměrů se pro často vyskytující druhy přístrojů/zařízení studují.

### 3.1.1 IMPEDANCE V NADŘAZENÉM SÍŤOVÉM BODĚ "Q".

Analogicky k vztahu (1) platí pro tuto impedanci<sup>7</sup>

$$Z_{kQ} = c \cdot \frac{U_n^2}{S_{kQ}} = c \cdot \frac{U_n}{\sqrt{(3)} \cdot I_{kQ}} \quad (3)$$

### 3.1.2 IMPEDANCE TRANSFORMÁTORŮ

Z parametrů transformátoru se určí činná a jalová složka  $R_T$  a  $X_T$  impedance transformátoru následujícím způsobem

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 S_{nT}} [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (4)$$

$$R_T = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{1000 S_{nT}^2} [\Omega, \text{kW}, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (5)$$

$$X_T = \sqrt{(Z_T^2 - R_T^2)} \quad (6)$$

kde  $u_k$  je jmenovité napětí nakrátko  
 $U_{nT}$  jmenovité napětí  
 $S_{nT}$  jmenovitý výkon  
 $P_{knT}$  jmenovité ztráty nakrátko

Velikosti základních parametrů pro transformátory 110kV/vn a vn/vn podle [27]<sup>8</sup> a transformátory 22/0.4 V podle [28] jsou uvedeny v TAB.1. Rezistance a reaktance jsou vypočteny pro jmenovitá primární napětí.

TAB. 1 Charakteristické hodnoty transformátorů

Napětí [kV] prim./ sek.	Výkon [MVA]	Napětí nakr. $u_k$ [%]	Ztráty nakrátko $P_{knT}$ [kW]	Ztráty naprázdno $P_{0nT}$ [kW]	rezistance $R_t$ [ $\Omega$ ]	reaktance $X_t$ [ $\Omega$ ]
110/23	10	11	85	14	10,285	132,7
	16	11	121	21	5,719	82,55
110/36,75	25	11	163	31	3,156	52,93
	40	11,5	228	45	1,724	34,74
Ynyn0/(d)	63	17,5	360	57	1,21	33,59
22/6,3	2,5	6	26	5	2,01	11,44
YndI	4	6	35	7	1,06	7,18

<sup>7</sup> Přepočty impedancí působících v různých napěťových hladinách na jinou napěťovou hladinu lze v podstatě vyloučit, pokud impedance  $Z$  všech zařízení vztáhneme ke kvadrátu jejich jmenovitého napětí:

$$r = \frac{R}{U_n^2}, \quad x = \frac{X}{U_n^2}, \quad z = \frac{Z}{U_n^2}$$

Pokud se jako jednotka pro tyto vztažné impedance používají %/MVA, pak musí být všechny vztažné impedance vynásobeny 100 % = 1.

<sup>8</sup> Hodnoty pro transformátory 110 kV/vn a vn/vn jsou převzaty z již zrušené normy [27], pro přesné výpočty je zapotřebí vycházet z katalogových hodnot příslušného výrobce a typu.



nebo YnynO	6,3	7	50	10	0,610	5,343
	10	7	70	14	0,339	3,371
	16	8,5	100	19	0,189	2,564
	25	8,5	145	26	0,112	1,642
	40	9	210	40	0,0635	1,087
*)22/0,4	50	4	1,10	0,19	213,0	323,4
	100	4	1,75	0,32	84,7	174,1
	160	4	2,35	0,46	44,4	112,6
	250	4	3,25	0,65	25,2	73,2
	400	4	4,60	0,93	13,9	46,4
	630	4	6,50	1,30	7,73	29,7
	630	6	6,70	1,20	8,23	45,4
	1000	6	10,50	1,70	5,08	28,6
	1600	6	17,00	2,60	3,21	17,9
	2500	6	26,5	3,80	2,05	11,4

\*) ČSN 35 1121 (ztráty nakrátko podle sloupce A); výkon v kVA

### 3.1.3 IMPEDANCE VEDENÍ

Pokud nejsou známa přesná data pro konkrétní vedení, lze pro sítě nn, 22 a 35 kV použít tyto měrné hodnoty<sup>9</sup>.

TAB. 2 Parametry venkovních vedení nn

typ vodiče	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]
25AlFe6	1.206	0.312
35AlFe6	0.778	0.301
42/7AlFe	0.687	0.294
50AlFe6	0.596	0.285
70/11AlFe	0.401	0.276

TAB. 3 Parametry venkovních vedení 22 kV<sup>10</sup>

typ vodiče	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]
35AlFe6	0.778	0.398	1.33
42/7AlFe	0.687	0.392	1.41
50AlFe6	0.615	0.389	1.42

<sup>9</sup> Vzhledem k velkému počtu průřezů a typů vodičů, jejich uspořádání i účelu a rozsahu této normy není možné uvádět data pro všechny vyskytující se a v úvahu přicházející případy vedení a kabelů, je zapotřebí využívat i dalších pramenů.

<sup>10</sup> V závislosti na uspořádání vodičů se u rovinného uspořádání mohou lišit reaktance mezi krajními a střední fází až o cca 6 %, u vedení s izolovanými vodiči o více než 8 %.

70/11AlFe	0.431	0.378	1.43
95AlFe6	0.301	0.370	1.45
110/22AlFe	0.259	0.361	1.46
120AlFe6	0.245	0.356	1.47

TAB. 4 Parametry venkovních vedení 35 kV

typ vodiče	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]
35AlFe6	0.778	0.389	1.34
42/7AlFe	0.687	0.381	1.37
50AlFe6	0.615	0.396	1.4
70/11AlFe	0.431	0.385	1.43
95AlFe6	0.301	0.374	1.46
110/22AlFe	0.259	0.368	1.49
120AlFe6	0.245	0.363	1.51

TAB. 5 Parametry kabelů nn

Typ vodiče	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]
25AYKY	1.233	0.0811
35AYKY	0.879	0.0792
50AYKY	0.619	0.0773
70AYKY	0.442	0.0756
95AYKY	0.326	0.0744
120AYKY	0.258	0.0743
150AYKY	0.206	0.0736
185AYKY	0.167	0.0735
240AYKY	0.129	0.0727

TAB. 6 Parametry kabelů 22 kV

Typ kabelu	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]
95ANKT..	0.39	0.13	80
120ANKT..	0.308	0.125	88
150ANKT..	0.246	0.121	95
185ANKT..	0.200	0.120	103
240ANKT..	0.154	0.113	113

TAB. 6a Parametry kabelů 22 kV

Typ kabelu	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]			B [ $\mu$ S/km]
		trojúhelník	krajní	střední	
70 AXE..	0,443	0,138	0,207	0,182	62,83
95 AXE..	0,32	0,132	0,201	0,176	69,12
120 AXE..	0,253	0,126	0,195	0,17	75,40
150 AXE..	0,206	0,12	0,19	0,163	81,68
185 AXE..	0,164	0,116	0,185	0,16	87,96
240 AXE..	0,125	0,113	0,182	0,157	94,25

TAB. 7 Parametry kabelů 35 kV

Typ kabelu	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]
95ANKT..	0.383	0.142	71
120ANKT..	0.304	0.137	76
150ANKT..	0.242	0.132	82
185ANKT..	0.196	0.128	87
240ANKT..	0.151	0.123	96
120AXE..	0.253	0.22	51
240AXE..	0.128	0,201	63

### 3.1.4 Synchronní stroje

Z parametrů synchronního generátoru nebo motoru se určí činná a jalová složka  $R_T$  a  $X_T$  impedance následujícím způsobem

Impedance generátorů:

$$Z_{Gk} = R_G + jX''_d \quad (7)$$

kde

$$X_{Sv} = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{nG}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (8)$$

$x_d''$  je procentní subtranzientní reaktance generátoru

$U_{rG}$  je jmenovité napětí generátoru

$S_{rG}$  je jmenovitý výkon generátoru

$R_G$  je fiktivní rezistance generátoru, pro kterou se použije

$R_{Gf} = 0,07 X_d''$  pro generátory s  $U_{rG} > 1 \text{ kV}$  a  $S_{rG} < 100 \text{ MVA}$

$R_{Gf} = 0,15 X_d''$  pro generátory s  $U_{rG} \leq 1 \text{ kV}$

Pro posuzování vlivů synchronního stroje při připojování k síti je dále důležitým parametrem poměr mezi největším rozběhovým, popř. zapínacím proudem  $I_a$  a jmenovitým proudem generátoru  $I_{nG}$ , definovaný jako

$$k_{imax} = \frac{I_a}{I_{nG}} \quad (9)$$

U synchronních strojů s jemnou synchronizací nebo střídačů je obvykle  $k_{imax} = 1$ .

### 3.1.5 ASYNCHRONNÍ STROJE

Asynchronní stroje (motory i generátory) vn i nn přispívají při symetrických zkratech k hodnotě rázového zkratového proudu  $I''_{kQ}$ , při nesouměrných zkratech i k ustálenému zkratovému proudu  $I_k$ .

Pokud impedance asynchronního stroje  $Z_M = R_M + j X_M$  není udána výrobcem, určí se jako

$$Z_M = \frac{1}{k_{imax}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} I_{rM}} = \frac{1}{k_{imax}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (10)$$

kde je:  $U_{rM}$  jmenovité napětí stroje

$I_{rM}$  jmenovitý proud

$S_{rM}$  jmenovitý zdánlivý výkon

$k_{imax}$  poměr rázového proudu při zabrzděném rotoru a jmenovitého proudu

Ze známého poměru  $R_M/X_M$  se určí  $X_M$  jako

$$X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{(1 + R_M / X_M)^2}} \quad (11)$$

Pro  $R_M/X_M$  lze užít s dostatečnou přesností

$R_M/X_M = 0,1$  - tedy s  $X_M/Z_M = 0,995$  pro stroje vn s  $P_{rM} \geq 1 \text{ MW/pól pár}$

$R_M/X_M = 0,15$  - tedy s  $X_M/Z_M = 0,989$  pro stroje stroje vn s  $P_{rM} < 1 \text{ MW/pól pár}$

$R_M/X_M = 0,42$  - tedy s  $X_M/Z_M = 0,922$  pro skupiny strojů nn propojených kabely

Při výpočtu napěťových poklesů při připojování asynchronních generátorů k distribuční síti se použijí jako směrné hodnoty [24]:

$k_{imax} = 4$  generátory připojované při 95 až 105 % synchronních otáček

$k_{imax} = I_a/I_{nG}$  asynchronní generátory motoricky rozbíhané ze sítě

$k_{imax} = 8$  pokud není známo  $I_a$ .

## 4. KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

Změny zatížení způsobují změny napěťových úbytků na impedanci sítě a tím i změny dodávaného napětí. Proto je zapotřebí kontrolovat, zda změny zátěže, kterou tato zařízení

odběratelů vyvolávají (zapínání, vypínání, střídavé zatížení za provozu) nevedou k nepřijatelným změnám napětí a s nimi spojenými nepřijatelnými hodnotami flikru.

Přípustné hladiny pro pravidelné pravoúhlé ustálené změny napětí v sítích nn podle normy [3] jsou uvedeny na obr.1. Takto velké změny vyvolávají právě mezní hodnoty flikru  $P_{st} = 1$ .

Jiné tvary průběhů napětíových změn se přepočtou na napětíové skoky ekvivalentní z hlediska flikru pomocí činitelů tvaru. Pro specifické průběhy napětíových změn uvedeny jsou tyto činitelé tvaru na obr.2 až obr.4. Při rozběhu motorů bez zvláštních opatření při spouštění platí zpravidla  $F = 1$ , jinak lze využít závislost na obr.5 převzatou z [11].

#### 4.1 VÝPOČET RELATIVNÍ ZMĚNY NAPĚTÍ "d"

Relativní změny napětí odpovídají přibližně změně výkonu  $\Delta S_A$  odběratele (zdroje) vztažené ke zkratovému výkonu  $S_{KV}$  (viz kapitola 3). Při symetrické trojfázové zátěži jsou relativní změny fázových napětí stejné se změnami sdružených napětí<sup>11</sup>

$$d = \frac{\Delta U_Y}{U_{nY}} = \frac{\Delta U}{U_n} \cong \frac{\Delta S_A}{S_K} \quad (12)$$

Přesnější je určení změny napětí z hodnot impedancí sítě  $Z_{KV}$  i připojovaného zařízení  $Z_{odb}$ , které respektuje i rozdíl mezi vnitřním úhlem impedance soustavy a připojovaného zařízení:

$$d = 1 - \text{abs} \left[ \frac{R_{odb} + jX_{odb}}{R_{KV} + R_{odb} + j(X_{KV} + X_{odb})} \right] \quad (13)$$

Je-li známa změna výkonu odděleně pro činnou a jalovou složku, lze vypočítat relativní změnu napětí  $d$  při znalosti složek impedance sítě jako:

$$d = \frac{1}{U_n^2} (R_{KV} \cdot \Delta P_A + X_{KV} \cdot \Delta Q_A) \quad (14)$$

Podobně při znalosti změny činné a jalové složky proudu  $I \cos \varphi$  a  $I \sin \varphi$  lze pro výpočet  $d$  využít známý vztah pro úbytek na předřazené impedanci

$$d = \frac{R_{KV} \cdot \Delta I \cos \varphi + X_{KV} \cdot \Delta I \sin \varphi}{U_N} \quad (15)$$

Pokud je změna napětí způsobena jednofázovou zátěží, připojenou mezi dvě fáze (např. svářečka), pak dojde k největší napětíové změně fázového napětí

$$d = \frac{\Delta U_Y}{U_{nY}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta S_A}{S_K} \quad (16)$$

Pozn.: Tato napětíová změna se v plné výši projeví jen v jednom ze tří fázových napětí.

#### 4.2 VÝPOČET MÍRY VJEMU FLIKRU P

Jak již bylo zmíněno, udává křivka na obr.1 přípustné hladiny pro kolísání napětí. Míra vjemu flikru je definována tak, že pro všechny body této křivky má velikost  $P = 1$ .

Střední míra vjemu flikru  $P$  během intervalu 10 minut se označuje  $P_{st}$ . (st = short term, krátkodobý). Kompatibilní úroveň pro  $P_{st}$  v síti nn je 1.

Zdroje rušení s dlouhodobě působícím činitelem rušení smí dosahovat pouze nižších hodnot rušení, protože pravděpodobnost překrývání rušení od různých zdrojů je větší.

<sup>11</sup>  $S_{odb}$  je např. při rozběhu motoru určeno změnou z  $S_{odb}=0$  na  $S_{odbmax}$  (maximální rozběhový výkon), takže  $S_{odb} = S_{odbmax}$ .

Míra vjemu flikru v intervalu 2 hodiny se označuje  $P_{1t}$  ( $1t$  = long term, dlouhodobý).

Kompatibilní úroveň pro síť nn je 0.8.<sup>12</sup>

Vypočtenou hodnotu rušení je třeba považovat za  $P_{1t}$ , pokud se může kolísání napětí trvale vyskytovat v delším časovém úseku (déle než 30 minut). Pokud je trvání kratší, hodnota se posuzuje jako  $P_{st}$ .

Např.  $P$  hodnota svářečky se posuzuje jako  $P_{st}$ , pokud tento stroj není ve dvouhodinovém intervalu celkem v provozu déle než 30 minut. Při delší době využití je hodnotu  $P$  třeba posuzovat jako  $P_{1t}$ .

U pravidelně se opakujících změn napětí s velikostí  $d$  a s četností  $r$  lze určit míru flikru pomocí křivky na obr.1 takto:

$$P_{sti} = \frac{d}{d_{lim}} \quad (17)$$

U složitějších jevů lze činitel flikru  $P$ , vyvolaný jednotlivým rušením vyčíslit nebo přibližně popsat dobou působení flikru  $t_f$ :

$$t_f = 2,3 \cdot (100dF)^3 \quad [s] \quad (18)$$

kde  $d$  je relativní změna napětí v proměnných hodnotách (např.  $100 \cdot d = 3$  pro  $d = 3\%$ )

$F$  činitel tvaru podle obr.2, 3, 4, 5 (pro napět'ový skok platí  $F = 1$ )

Hodnota "2,3 [s]" slouží jako přizpůsobovací koeficient

Výsledná míra vjemu flikru  $P$  se určí přibližně jako součet trvání účinku flikru, vztažený na sledovaný časový interval, ve kterém se vyskytuje kolísání napětí.

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{10 \text{min}}} \quad [-; \text{min}] \quad (19)$$

$$P_{1t} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{120 \text{min}}} \quad [- + \text{min}] \quad (20)$$

#### 4.2.1 SKLÁDÁNÍ FLIKRU Z RŮZNÝCH ZDROJŮ

Míra vjemu flikru různých nesynchronních zdrojů flikru v distribuční síti se obecně sčítá podle následujícího vztahu

$$P_{celk} = \sqrt[3]{P_1^3 + P_2^3 + \dots + P_n^3} \quad (21)$$

Míra vjemu flikru větrných elektráren se ve smyslu [12] sčítá podle následujícího vztahu

$$P_{celk} = \sqrt[2]{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2} \quad (22)$$

#### 4.2.2 ŠÍŘENÍ FLIKRU

<sup>12</sup> Pro jednotlivá zařízení uvádí [16] podle [8] následující meze stanovené pro typové zkoušky při připojení ke zdroji s referenční impedancí o velikosti definované v ČSN IEC 725:

- relativní změna ustáleného stavu napětí 3 %;
- maximální relativní změna napětí 4 %;
- $P_{st}$  nesmí být větší než 1,0;
- $P_{1t}$  nesmí být větší než 0,65.

Od místa vzniku (společného napájecího uzlu) **ve směru k napájení sítě** se v paprskových sítích zmenšuje míra flikru v poměru zkratového výkonu  $S_{kV}$  ve společném napájecím uzlu ke zkratovému výkonu  $S_{kX}$  v posuzovaném místě sítě X

$$P_{stiX} = \frac{S_{kV}}{S_{kX}} \cdot P_{stiV} \quad (23)$$

Od místa vzniku ve směru **od napájení sítě** se předpokládá nezměněná míra flikru.<sup>13</sup>

### 4.3 POSTUP PŘI POSUZOVÁNÍ PŘÍPUSTNOSTI PŘIPOJENÍ

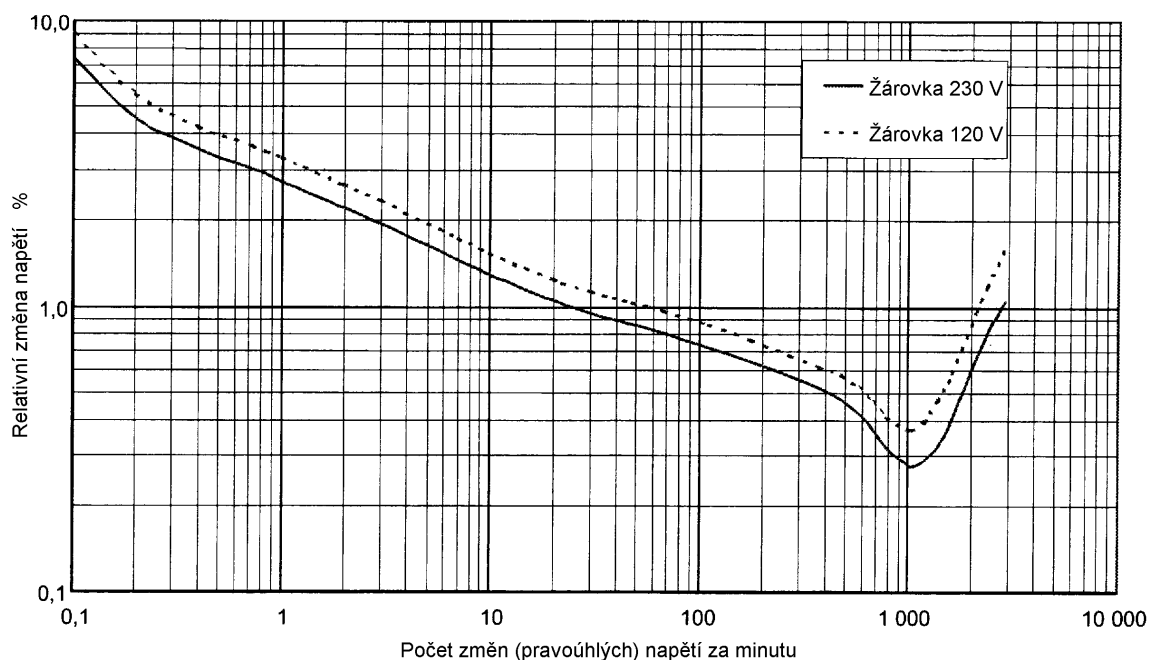
#### 4.3.1 ODBĚRY PŘIPOJOVANÉ DO SÍTÍ NN

Posuzování se netýká domácích spotřebičů a podobných elektrických zařízení, která vyhovují [8].

Postup při posuzování je naznačen na obr.7. Přípustné hladiny pro pravidelné pravoúhlé ustálené změny napětí v sítích nn podle normy [3] jsou uvedeny na obr.1.

Aby bylo možné dodržet toleranční pásmo napětí podle [1] jsou změny napětí i při jejich malé četnosti omezeny na 3 %. U maximálních (přechodných) změn napětí lze přitom podle připustit změnu napětí  $d_{max}$  4 %. Při ručním spínání nebo četnosti menší než jednou za hodinu jsou přípustné hodnoty 1.33 krát větší.<sup>14</sup>

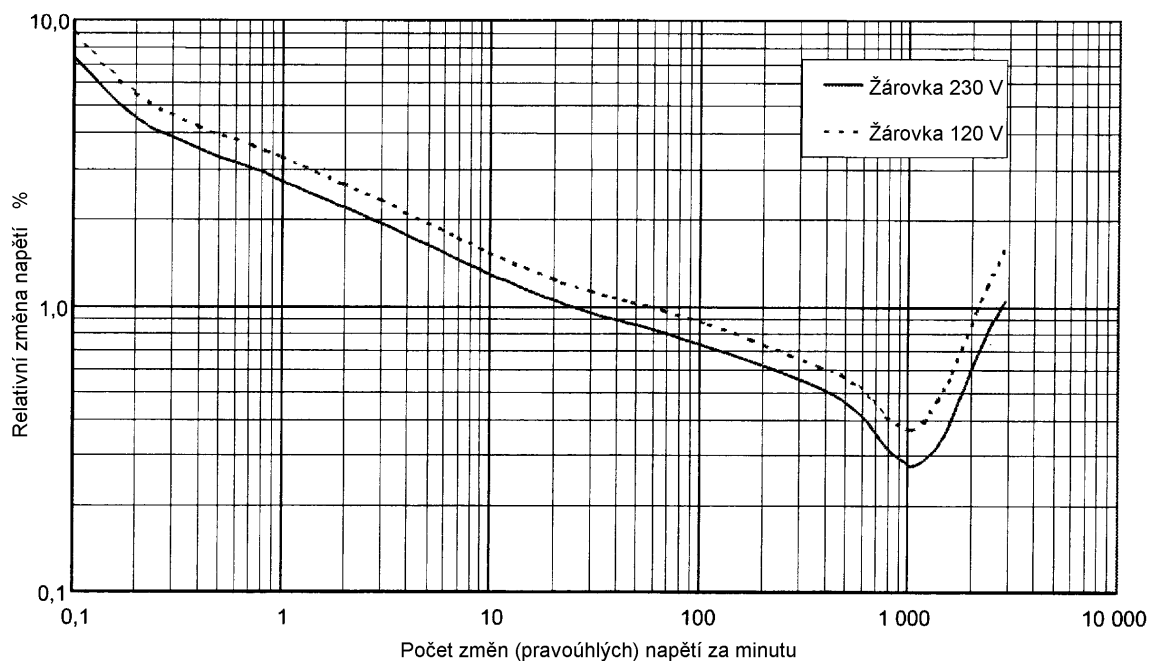
Souhrnně jsou přípustné velikosti relativních změn napětí i činitelů flikru uvedeny v TAB.8.



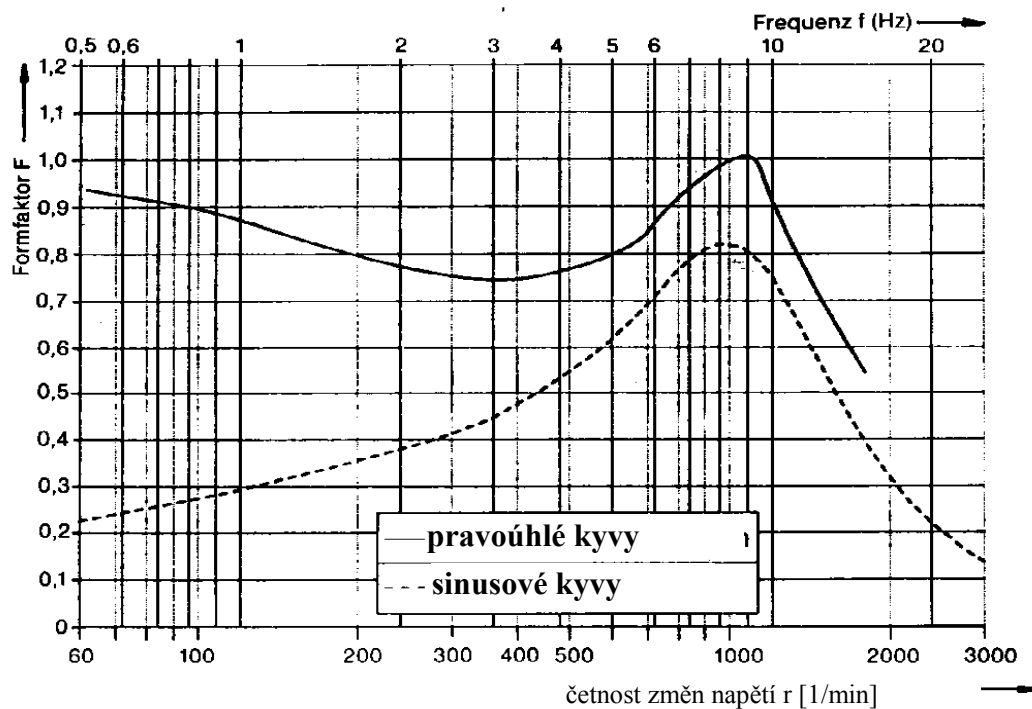
Obr. 1 Přípustné hladiny  $d_{max}$  pro pravidelné pravoúhlé změny napětí

<sup>13</sup> Tento předpoklad v sobě zahrnuje určitou bezpečnostní rezervu, vliv dalších odběratelů na snižování míry flikru se studuje, např.[12] uvádějí pro přenos z vn do nn přenosový koeficient pro P 0,95.

<sup>14</sup> Při častěji se vyskytujících změnách napětí jsou s ohledem na možný rušivý účinek flikru potřebné užší hranice. Při 18 změnách za sekundu (= 1080 změn/minutu) reaguje lidské oko nejcitlivěji, takže při této frekvenci vede k potížím již napěťová změna asi 0.3 %.

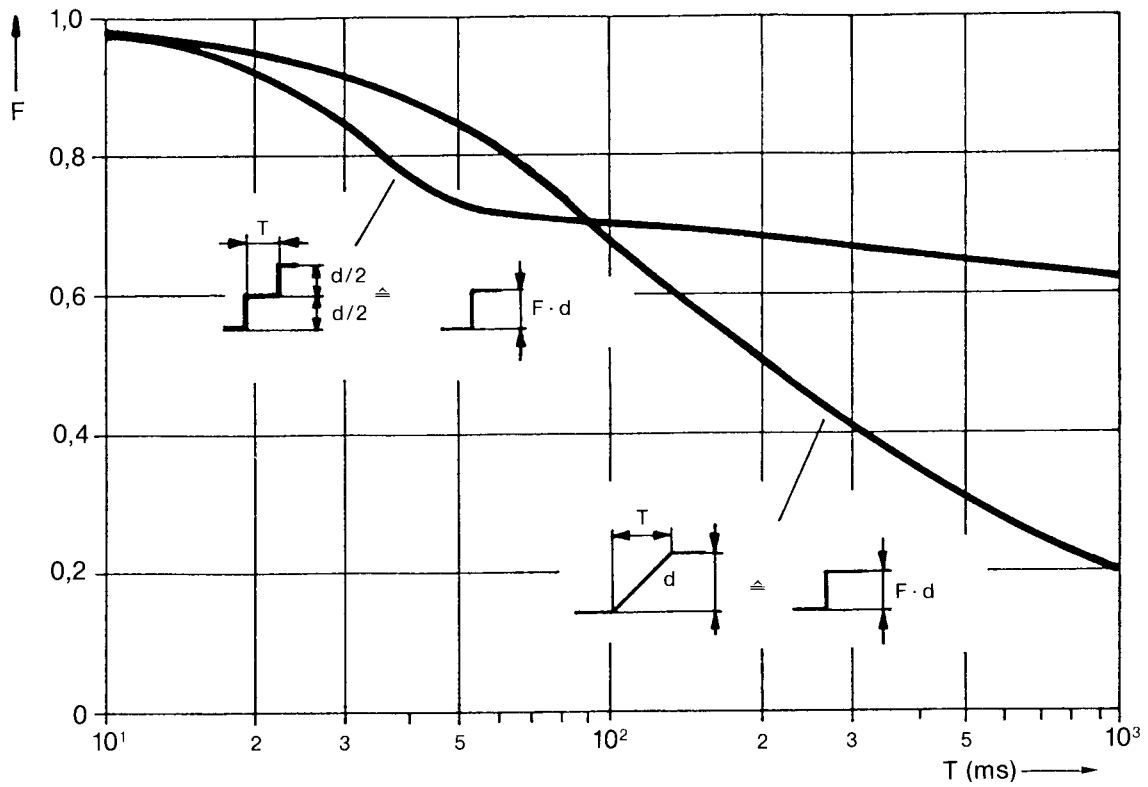


Obr. 1 Přípustné hladiny  $d_{max}$  pro pravidelné pravouhlé změny napětí

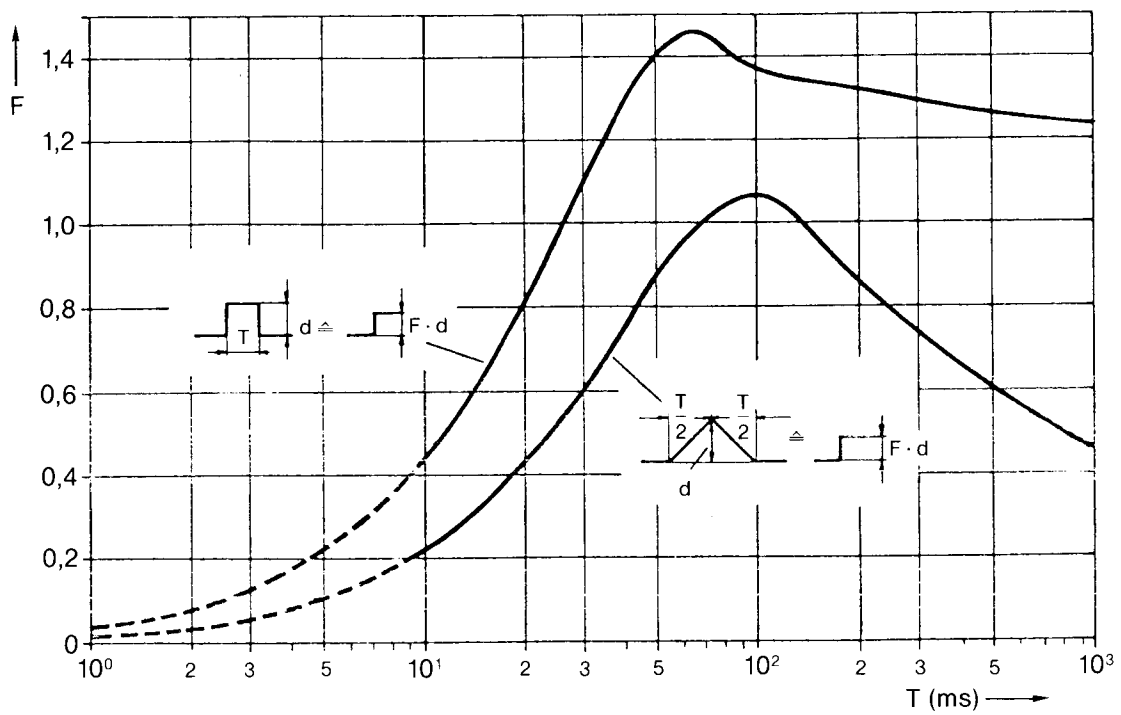


Obr.2 Činitelé tvaru pro periodické změny napětí

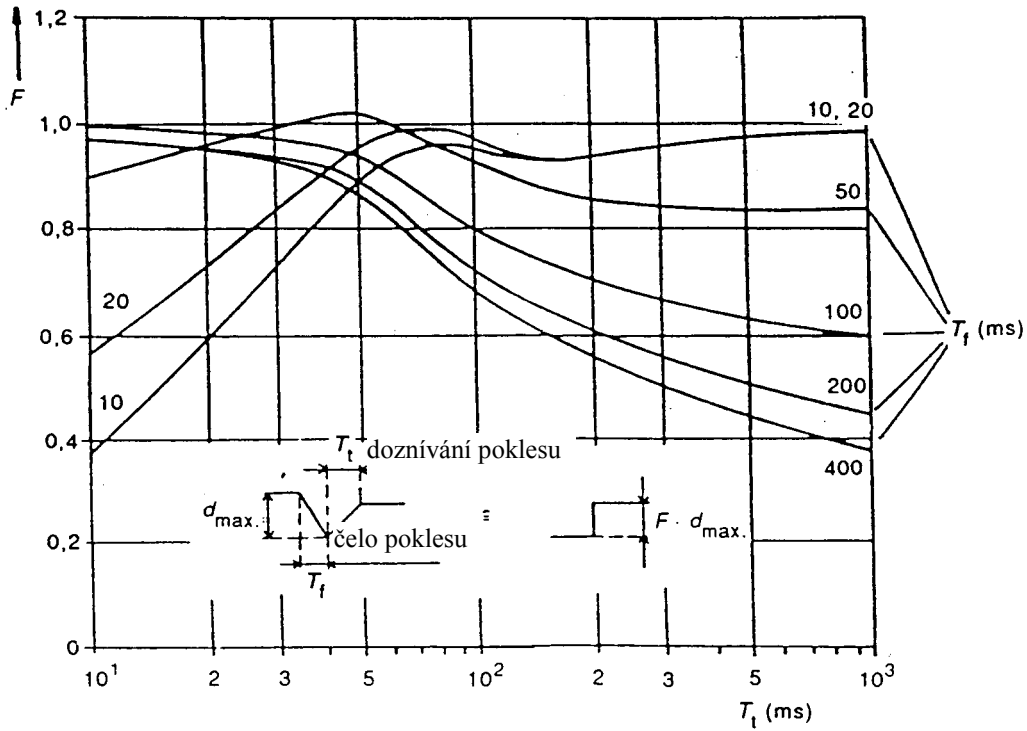




Obr. 3 Činitelé tvaru pro schodovité a postupné napěťové skoky



Obr. 4 Činitelé tvaru pro pravoúhlé a trojúhelníkové pulsy



Obr. 5. Činitelé tvaru pro spouštění motorů

Přípustné limity rušení	Plt	Pst	d/dmax
síť			
nn	0,80	1	
vn	0,70	0,9	
110 kV	0,60	0,8	
Příspěvek všech odběratelů napěťové hladiny			
nn	0,5	0,72	
vn	0,61	0,78	
110 kV	0,6	0,8	
jeden odběratel			
nn	0,4	0,6	0,03/0,04
vn	0,25	0,35	0,02/0,03
110 kV	0,25	0,35	0,02/0,03
jeden zdroj			
nn	0,46		0,03/0,04
vn	0,46		0,02/0,03
110 kV	0,25		

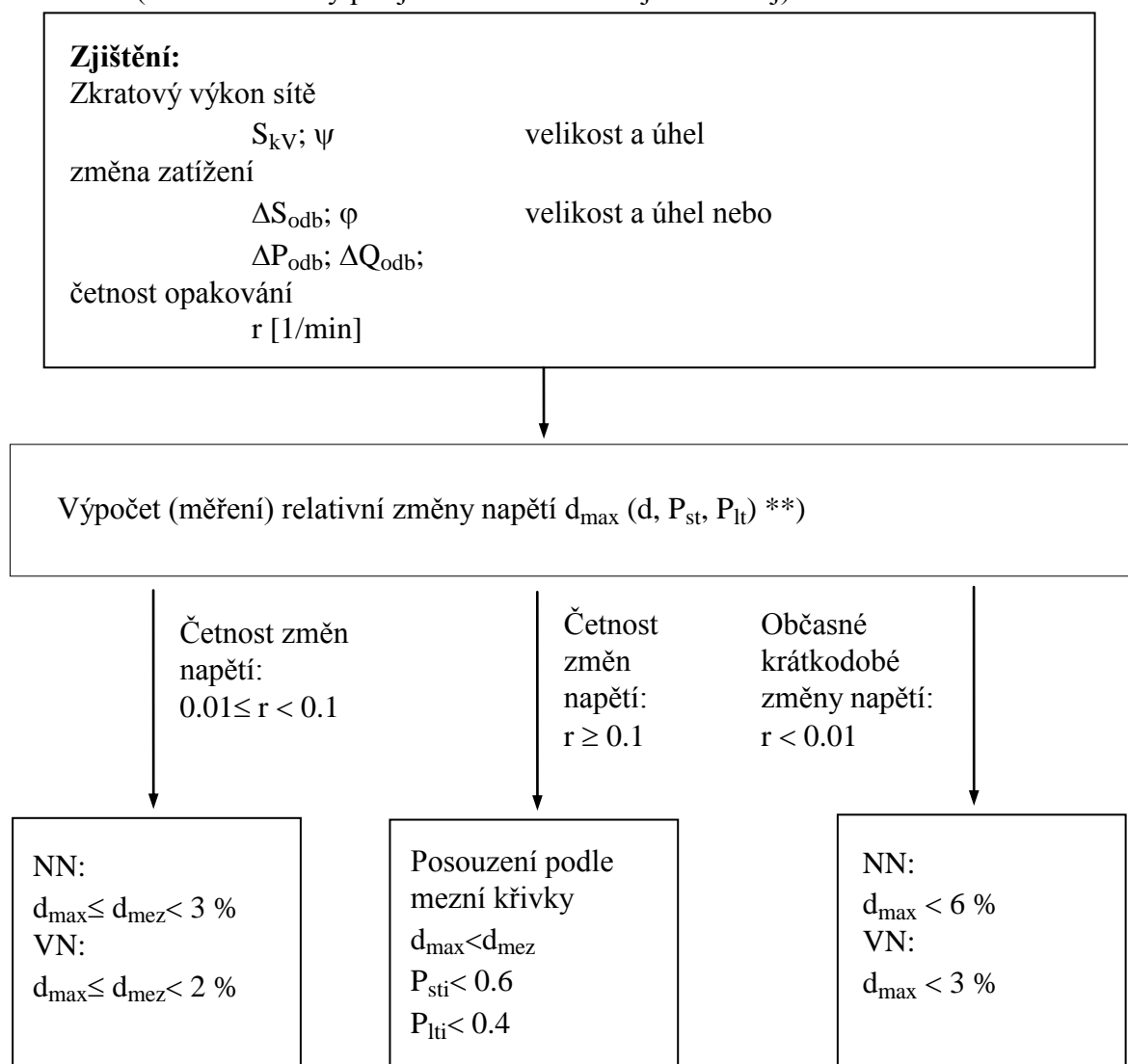
TAB. 8 SMĚRNÉ HODNOTY PRO POSOUZENÍ FLIKRU A KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

Pozn. 1 Směrná hodnota příspěvku všech odběratelů pro hladinu 110 kV je převzata z [12]. Platí za předpokladu, že zkratový výkon na hladině 110 kV je mnohonásobně vyšší, než v napájené síti vn. Pro zkratové výkony v síti 110 kV nižší než např. 1000 MVA doporučujeme respektovat přenos flikru z hladiny vn v poměru zkratových výkonů.

Pozn. 2: Asynchronní stroje připojované přibližně se synchronními otáčkami mohou vlivem svých vnitřních přechodových jevů způsobit velmi krátké poklesy napětí. Takovýto pokles smí dosáhnout dvojnásobku jinak přípustné hodnoty, tj. pro síť vn 4 %, pro síť nn 6 %, pokud netrvá déle než dvě periody a následující odchylka napětí od hodnoty před poklesem napětí nepřekročí jinak přípustnou hodnotu.

Z TAB.8 vychází následující schéma pro posuzování změn a kolísání napětí.

**Posuzování změn napětí odběratelů v sítích nn a vn**  
(směrné hodnoty pro jednoho odběratele/jeden zdroj)



Obr.6

### 4.3.2 POSUZOVÁNÍ PŘIPOJITELNOSTI V SÍTÍCH VN A 110 KV

Pro sítě vn a vvn uvádí [12] postup posuzování, který má na jedné straně zamezit složitějšímu podrobnému posuzování v těch případech, kdy již jednoduchý postup vyloučí nepřipustné rušení sítě, na straně druhé při podrobnějším posuzování umožní připojit i odběratele nebo zdroje, které by při zjednodušeném posuzování výše uvedeným podmínkám nevyhověli. Schématicky je tento třístupňový přístup uveden na obr. 7.

#### 4.3.2.1 ETAPA 1: ZJEDNODUŠENÉ VYHODNOCENÍ RUŠIVÉHO KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

Kolisající zatížení může být do sítě vn připojeno bez podrobné analýzy, jestliže změny zdánlivého příkonu ( $S$  ve společném napájecím bodu) vyhoví mezím podle následující tabulky. Tyto meze závisí na počtu  $r$  změn napětí za minutu (pokles napětí následovaný obnovením původního napětí jsou dvě změny napětí):

TAB.9

$r$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$\Delta S / S_k$ (%)
$r > 200$	0,1
$10 \leq r \leq 200$	0,2
$r < 10$	0,4

kde  $S_k$  je zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodu.

Pozn.: Změna příkonu  $\Delta S$  může být menší, stejná nebo větší než jmenovitý příkon  $S_N$  vyšetřovaného zařízení (např. u motoru se musí brát v úvahu zdánlivý příkon při rozběhu, který může být  $\Delta S = 5 \div 6 S_N$ ).

Pro sítě 110 kV může posuzování v etapě 1 vycházet z obecné podmínky pro orientační posouzení potřeby ověřování zpětných vlivů vyjádřené již v části 3.1.

Největší připojitelný výkon odběru (zdroje)  $S_{\text{maxi}}$ , který lze připojit v místě se zkratovým výkonem  $S_{kV}$  bez dalšího posuzování musí vyhovovat podmínce

$$\frac{S_{kV}}{S_{\text{maxi}}} \geq 1000$$

#### 4.3.2.2 ETAPA 2 PŘIPOJITELNOST PODLE VÝPOČTU RUŠIVÝCH VLVŮ

V této etapě se při posuzování připojitelnosti se nejprve určí:

- celkový dovolený příspěvek posuzované napěťové hladiny k dosažení plánovacích limitů (směrných hodnot)

Tato mez pro krátkodobou míru vjemu flikru  $G_{\text{Pstvn}}$  se pro hladinu vn určí podle následujícího vztahu

$$G_{\text{Pstvn}} = \sqrt[3]{L_{\text{Pstvn}}^3 - T_{\text{PstHM}}^3 \cdot L_{\text{Pstvn}}^3} \quad (24)$$

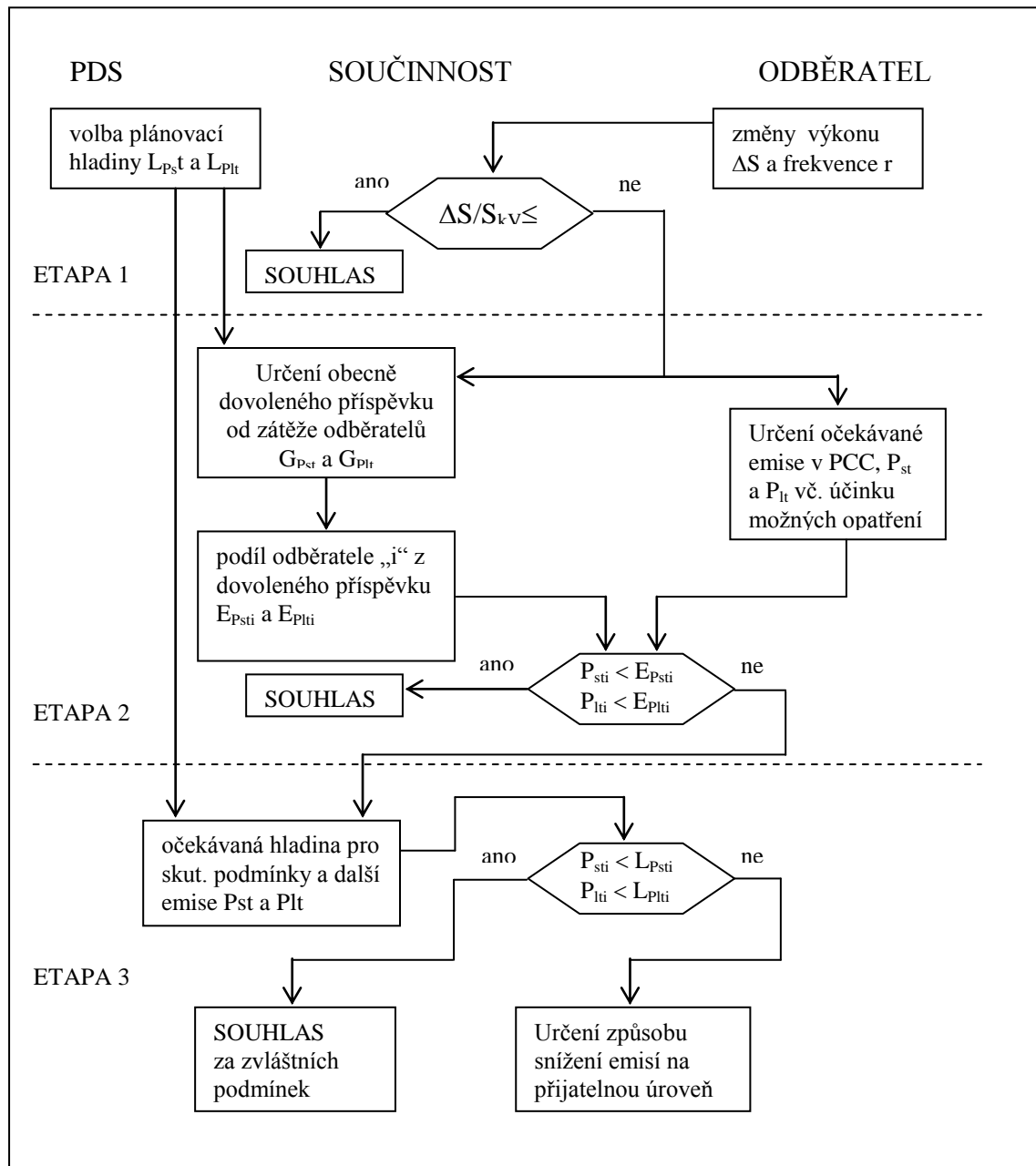
kde  $L_{\text{Pstvn}}$  je plánovací úroveň pro síť vn – (hodnota 0,9 podle Tab. 8)

$L_{\text{Pstvvn}}$  je plánovací úroveň pro síť vvn – (hodnota 0,8 podle Tab. 8)

$T_{\text{HM}}$  je přenosový koeficient pro flikr z nadřazené sítě vvn do sítě vn

Pozn.: Obvyklá hodnota  $T_{\text{HM}}$  pro Pst i Plt je 0,8, zatímco  $T_{\text{ML}}$  (přenos do sítě nn je obvykle blízký jedničce ( $T_{\text{ML}} \approx 0,95$ )<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Tyto hodnoty jsou převzaté z [12], souborné hodnocení přenosu flikru v našich sítích není k dispozici.



Obr.7

Podobně platí pro dovolený příspěvek hladiny vn k dlouhodobé míře vjemu flikru  $G_{Plt}$

$$G_{Pltvn} = \sqrt[3]{L_{Pltvn}^3 - T_{PltHM}^3 \cdot L_{Pltvn}^3} \quad (25)$$

kde  $L_{Pltvn}$  je plánovací úroveň pro síť vn – (hodnota 0,7 podle Tab. 8)

$L_{Pltvvn}$  je plánovací úroveň pro síť vvn – (hodnota 0,6 podle Tab. 8)

$T_{HM}$  je přenosový koeficient pro flikr z nadřazené sítě vvn do sítě vn

Pro směrné hodnoty  $P_{st}$  a  $P_{lt}$  pro hladiny nn, vn a 110 kV a přenosové koeficienty  $T_{HM} = 0,8$  (mezi hladinou 110 kV a vn) a  $T_{ML} = 0,95$  pro přenos mezi vn a nn jsme určili přípustné příspěvky zařízení v jednotlivých napěťových hladinách, uvedené v třetím řádku TAB. 8.

b) podíl odběratele (zdroje) na celkovém kolísajícím zatížení (dodávce) v síti

Přípustný podíl jednotlivých odběratelů na kolísání napětí – flikru se určí podle podílu sjednaného příkonu  $S_i$  a celkového přenositelného výkonu sítě. Dále se zavádí činitel

soudobosti  $F_{vn}$ , který respektuje, že ne všechna kolísající zatížení (odběry) se projevují v síti současně – podle [12] jsou typické hodnoty  $F_{vn}$  0,2 až 0,3.

Mez pro přípustnou hodnotu krátkodobé míry vjemu flikru odběratele (zdroje)  $i$ , tj.  $E_{Psti}$  pak určíme

$$E_{Psti} = G_{Pstvn} \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{vn}} \cdot \frac{1}{F_{vn}}} \quad (26)$$

Pro přípustnou hodnotu dlouhodobé míry vjemu flikru odběratele (zdroje)  $i$ ,  $E_{Plti}$  platí obdobně

$$E_{Plti} = G_{Pltvn} \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{vn}} \cdot \frac{1}{F_{vn}}} \quad (27)$$

Analogické vztahy platí pro stanovení přípustného podílu odběratele (zdroje) v síti 110 kV. Při určování celkového přenositelného výkonu síť se podle [12] doporučuje uvažovat pouze přímé odběry (zdroje) pracující do sítě 110 kV.

Pozn.1: Toto doporučení vychází z předpokladu, že z nižší napěťové hladiny ( $vn$ ) se do sítě 110 kV nepřenášejí kolísání napětí a flikr. U sítě 110 kV s nízkým zkratovým výkonem (např. pod 1000 MVA doporučujeme uplatnit i přenos flikru z hladiny  $vn$ , snížený v poměru zkratových výkonů v síti  $vn$  a 110 kV.

Pozn.2: Pro uživatele s relativně malým sjednaným příkonem může přinášet výše uvedený přístup příliš přísná omezení. Proto se doporučuje každému odběrateli (zdroji) poskytnout určité minimální meze pro  $E_{Psti}$  i  $E_{Plti}$ . Tyto hodnoty jsou uvedeny ve třetím řádku TAB.8.

Pro síť 110 kV požaduje [12] po kontrole přípustné hladiny flikru dále kontrolovat i rychlé napěťové změny a jejich četnost. Limity obsahuje následující TAB.10.

TAB.10 Limity rušení změnami napětí

Četnost [r/h]	$du_{max}$ [% $U_n$ ]
$r \leq 1$	3
$1 < r \leq 10$	2,5
$10 < r \leq 100$	1,5
$100 < r \leq 1000$	1

### 4.3.2.3 ETAPA 3 PŘIPOJITELNOST S VYŠŠÍMI DOVOLENÝMI HLADINAMI RUŠENÍ

Postupy podle etap 1 a 2 mohou vést k omezování připojení odběrů/zdrojů i v případech, kdy je u posuzovaných charakteristik napětí dostatečná rezerva ve vztahu k limitům pro celou síť. Ne všichni odběratelé provozují kolísající odběry, ne vždy je ze sítě odebírán plný přenositelný výkon.

Proto má provozovatel distribuční soustavy právo využít dostupnou rezervu v hladinách rušení pro výjimečné a popř. časově omezené připojení.

## 4.4 PŘÍKLADY

### 4.4.1 ROZBĚH MOTORU

Třífázový motor s výkonem 30 kW a  $\cos \varphi_n = 0.85$  má být připojen do sítě 400/230 V, napájené transformátorem 250 kVA. Zkratový výkon sítě 22 kV v místě připojení transformátoru je 40 MVA. Připojení má být kabelem AYKY s průřezem 120 mm<sup>2</sup>, délky

150 m. Rozběhový proud motoru je (podle dotazníku odběratele)  $I_r = 6I_n$  při  $\cos r = 0.25$ .

Transformátor 250 kVA má parametry: převod 22/0.4 kV;  $u_k = 4\%$ , ztráty nakrátko  $P_k = 3.4$  kW.

Přívodní vedení má měrné parametry  $0.299 + j0.07 \Omega/\text{km}$ .

Zkratový výkon v místě připojení motoru je (pomocí vztahů v části 3) 2.4 MVA.

Přibližné určení poměrného napěťového poklesu pomocí vztahu (7) tedy poskytnete

$$d = \frac{I_r P_n}{I_n \cos \varphi S_{kV}} = 6 * \frac{30}{0,85 * 2400} = 0,088$$

Přesnějším výpočtem podle rovnice (8) dostaneme

$$d = 1 - \text{ABS} \left[ \frac{0,18895 + j0,73144}{0,18895 + 0,05354 + j(0,73144 + 0,03961)} \right] = \\ = 1 - \text{ABS}[0,93338 + j0,04849] = 0,0654$$

Protože napěťová změna je větší než 2 %, nemůže být obecně připojení povoleno, je zapotřebí použít některé z opatření na zmírnění napěťového poklesu.

#### 4.4.2 Střídavá motorická zátěž

##### Připojení rámové pily (katru)

V síti nn podle obr.8 je připojen samostatným vývodem k sekundární straně transformátoru 22/0.4 kV, 160 kVA katr s motorem 15 kW, 280 zdvihů/min.

Další katr má být připojen na konci vývodu v místě A.

**Měření** v místě A prokázalo:

při provozu katru č.1  $P_{stA(1)} = 0.9$

při provozu obou katrů  $P_{stA(1,2)} = 2.0$

**Výpočet** rušení provozem katru č.2 v přípojném bodě A:

$$P_{stA(1,2)} = \sqrt[3]{P_{stA(1)}^3 + P_{stA(2)}^3}$$

$$P_{stA(2)} = \sqrt[3]{P_{stA(1,2)}^3 - P_{stA(1)}^3} = \sqrt[3]{2^3 - 0.9^3} = 1.93$$

Přepočet rušení katrem č.2 do společného napájecího uzlu V1

$$P_{stV1(2)} = P_{stA(2)} \cdot \frac{S_{kA}}{S_{kV1}} = 1.93 \cdot \frac{1.31}{1.69} = 1.5 > 0.6 \text{ nevyhovuje}$$

Celková velikost míry flikru v bodě V1 při provozu obou katrů

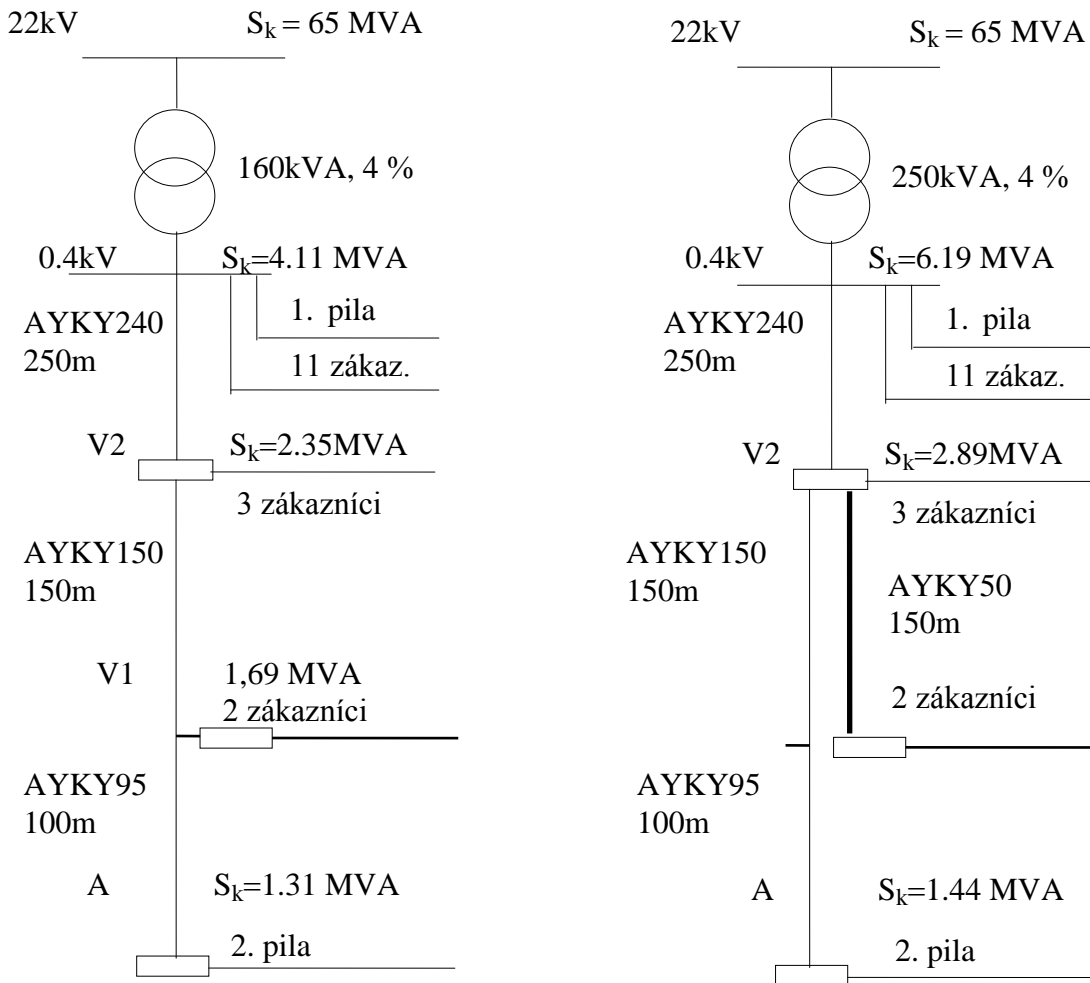
$$P_{stV1(1,2)} = \sqrt[3]{P_{stV1(1)}^3 + P_{stV1(2)}^3} = \sqrt[3]{0.9^3 + 1.5^3} = 1.60 > 1 \text{ nevyhovuje}$$

##### **Posouzení**

Přípustná hladina flikru  $P_{st}$  by byla dosažitelná pouze při přímém připojení katru č.2 k transformátoru, celá síť by však byla vystavena vysoké hladině  $P_{st} = 0.99$

**Nápravné opatření**

Transformátor 160 kVA nahradit transformátorem 250 kVA a odběratele v napájecím bodě V1 připojit zvláštním přívodem z napájecího bodu V2 s vyšším zkratovým výkonem



Obr. 8

**Přepočítání míry flikru na změněné zkratové podmínky**

Základní hladina  $P_{stisb(1)}$  (nová) na přípojnicí transformátoru 250 kVA

$$P_{stisb(1)}(n) = P_{stisb(p)} \cdot \frac{S_{ksb(p)}}{S_{sb(n)}} = P_{stiv2(1)} = 0.9 \cdot \frac{4.12}{6.195} = 0.6$$

Míra flikru  $P_{stiv2(2)}$  vyvolaná katrem č.2 ve společném napájecím bodě V2

$$P_{stiv2(2)} = P_{stia(2)}(p) \cdot \frac{S_{ksA(p)}}{S_{kv2(n)}} = 1.93 \cdot \frac{1.31}{2.82} = 0.874$$

Míra flikru vyvolaná provozem obou katrů

$$P_{stV2} = \sqrt[3]{P_{stiv2(1)}^3 + P_{stiv2(2)}^3} = \sqrt[3]{0.6^3 + 0.874^3} = 0.96 < 1 \text{ vyhovuje}$$

**4.4.3 PŘIPOJENÍ BLOKOVÉ TEPLÁRNY**

K síti 10 kV distribuční společnosti se má připojit bloková teplárna (s plynovými turbinami) se smluvním dodávaným zdánlivým výkonem  $S_{ev}$  840 kVA. Ten odpovídá maximálnímu



zdánlivému výkonu zařízení a vypočítá se ze součtu jmenovitých zdánlivých výkonů  $S_{nE}$  dvou jednotlivých zařízení po 420 kVA, přičemž jmenovitý zdánlivý výkon jednotlivého zařízení se rovná jmenovitému výkonu generátorové jednotky  $S_{nG}$ .

V této síti nejsou žádné další vlastní výroby.

Pro vlastní výrobu jsou k dispozici tato data:

synchronní generátor jmenovitý zdánlivý výkon jednotlivého zařízení	$S_{nE} = 420 \text{ kVA}$
max. činitel zapínacího rázu	$k_{imax} = 1$
počet jednotlivých zařízení	$i = 2$
příspěvek jednotlivého zařízení ke zkratovému proudu (vztaženo na předávací místo)	$I_{kE} = 50 \text{ A}$

Pro přípojné místo v síti vn jsou tato data:

zkratový výkon	$S_{kV} = 60 \text{ MVA}$
úhel impedance sítě	$\psi_k = 50^\circ$

V dalším se ověřují jednotlivá přípojná kritéria v pořadí pododstavců kapitoly 3.

### **Zvýšení napětí provozem teplárny**

Odhad podle poměru zkratového a provozního výkonu pomocí rovnice (7):

$$d \leq \frac{S_{Amax}}{S_{kV}} = \frac{0,84 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} = 0,014$$

Podmínka zvýšení napětí je dodržena, protože poměr provozního a zkratového výkonu je menší než 2 % (mez pro změny napětí v síti vn v tab. 6).

### **Změny napětí způsobené spínáním**

Při provozním připínání a odpínání je mezi jednotlivými zařízeními časový odstup 2 minuty. Změna napětí při připojení jednotlivého zařízení je podle rovnice (12):

$$\Delta u_{max} = k_{imax} \frac{S_{nE}}{S_{kV}} = 1 \cdot \frac{0,42 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} = 0,7 \% .$$

Je menší než přípustná změna napětí 2 %.

### **Výsledek ověření**

Připojení vlastní výroby je přípustné, maximální zdánlivý výkon zařízení 840 kVA lze dohodnout jako smluvní výkon.

## 4.5 OPATŘENÍ NA ZMÍRNĚNÍ KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

Ke snížení činitele flikru jsou možná následující opatření:

- obecně:
  - připojení zařízení do místa sítě s dostatečným zkratovým výkonem, popř. do vyšší napěťové hladiny,
  - instalace zařízení pro dynamickou kompenzaci
- u motorů:
  - kotva s nižším rozběhovým proudem
  - spouštěč
  - setrvačnick nebo vyrovnání zátěže pro snížení periodického kolísání zatížení

## 5. NESYMETRIE NAPĚTÍ

### 5.1 VŠEOBECNÉ

Zatížení, rozložená nerovnoměrně na tři fáze trojfázové sítě mají za následek nesymetrické proudy a tím i nesymetrická napětí v síti.

Jednofázové zátěže, připojené mezi fázový a nulový vodič jsou možné jen v nn sítích. Pro tyto odběratele obvykle není kontrola nesymetrie nutná, protože nesymetrie napětí vzhledem k očekávanému poměru  $S_{odb}/S_k$  (většinou menším než 1 %) jsou téměř bezvýznamné. Větším nesymetriím součtovým působením více jednofázových odběrů lze zabránit důsledným stejnoměrným rozdělením zátěží na jednotlivé fáze.

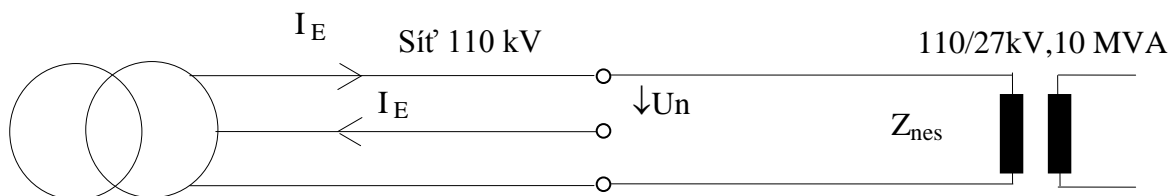
Pro stejný činný výkon je proudové zatížení zařízení jednofázovým odběrem až cca dvojnásobné proti symetrické zátěži. Transformátory a vedení pak nemohou být zatíženy jejich jmenovitým výkonem.

Významným zdrojem nesymetrie napětí v našich distribučních sítích jsou odběry trakčních transformoven střídavé trakce, připojované mezi dvě fáze vedení 110 kV (obr.9).

V synchronních a asynchronních strojích vyvolávají proudy zpětného systému pole, které se točí dvojnásobnou rychlostí v protisměru k poli budiče. Tím dochází k přídavným ztrátám v rotoru. U synchronních strojů se udává trvale přípustný proud zpětné složky od 5 do 10 % jmenovitého proudu  $I_{TG}$ . Odtud lze odvodit přípustný stupeň nesymetrie  $u_2 = 1 \dots 2 \%$ .<sup>16</sup>

U asynchronních strojů je zapotřebí očekávat pozorovatelné zvýšení teploty již při  $u_2 > 1 \%$ . Od  $u_2 > 2 \%$  může při plném zatížení docházet ke škodlivému oteplení, snižujícímu výrazně životnost.

Napěťová nesymetrie může též ovlivňovat nežádoucím způsobem funkci řídicích a regulačních zařízení. Moderní ochrany generátorů, motorů i vedení jsou vybavovány



Obr.9 Nesymetrický odběr trakční transformovny

<sup>16</sup> V souladu s připravovaným zavedením normy [20] jako ČSN EN 50160 je při kontrolním měření požadováno, aby mez nesymetrie nepřekročila dovolené hodnoty v 95 % měřicích intervalech během týdenního měření. S ohledem na nastavení ochran generátorů a vedení však v místě jejich instalace nesmí být překročeny dovolené meze ve 100 % měřicích intervalech, jinak je nebezpečí jejich nežádoucího vypnutí.

ochranami proti nesymetrickému zatížení, které mohou vyvolat jejich odpojení.

## 5.2 VÝPOČET STUPNĚ NESYMETRIE NAPĚTÍ U(2)

Pro posouzení účinků nesymetrické zátěže je zapotřebí rozložit jejich proudy a napětí na složky,

- na souslednou složku U(1), I(1),
- na zpětnou složku U(2), I(2)

Netočivou složku není třeba pro síť vn a vvn zapotřebí uvažovat, protože všechny odběry jsou připojeny mezi fázové vodiče.

Pro mezifázovou zátěž  $S_{odb}$  podle obr. 9 platí přibližně pro stupeň nesymetrie napětí vztah

$$u_{(2)} = \frac{U_{(2)}}{U_{(1)}} \cong \frac{S_A}{S_K} \quad (28)$$

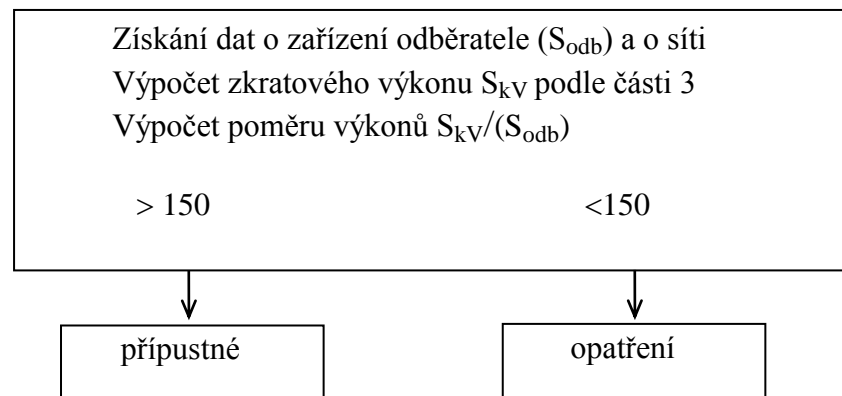
## 5.3 PŘÍPUSTNÉ HODNOTY NESYMETRIE NAPĚTÍ

Jako přípustnou hladinu podle [3] až [5] lze uvést pro celou síť hodnotu

$$u_{(2)} = 2 \%,$$

kteřá platí pro dlouhodoběji působící nesymetrie, které mohou vést k nepřipustnému oteplení.

Podle [21] a [22] jsou tyto hladiny v síti všeobecně zajištěny, pokud v zařízení jednoho odběratele při všech provozních stavech výsledné zatížení nevyvolá větší nesymetrii než  $u_{(2)přip} = 0.7 \%$  v rozsahu minut (ustáleně). Této zásadě odpovídá následující schéma.



Obr.10 Posuzování nesymetrické zátěže

## 6. HARMONICKÉ

Synchronní generátory elektráren je možné za cenu přijatelných zjednodušení považovat za zdroje sinusových napětí 50 Hz a rovněž tak lze vycházet z představy, že el. síť, tj. zejména transformátory, přenáší proudy a napětí síťového kmitočtu bez podstatných zkreslení. Naproti tomu proudy tekoucí do zařízení řady odběratelů připojených k el. sítím jsou nesinusové. Tyto proudy vyvolávají na impedancích sítí nesinusové úbytky napětí, které kromě složky s kmitočtem sítě, obsahují též podíl harmonických.

Zkreslení průběhů křivky napětí ve společném napájecím bodu způsobuje dodatečná

namáhání zařízení dalších odběratelů i zařízení rozvodného podniku, přičemž dochází k poruchám jejich funkce, či zkrácení životnosti.

Nelineární odběry lze podle teoretických rozborů i praktických zkušeností považovat za proudové zdroje harmonických.

Každá hodnota napětí harmonických vyskytující se v síti je výslednou hodnotou k níž přispívají všechna zařízení odběratelů svými emisemi proudů harmonických a závisí zejména na:

- impedanci sítě pro harmonické
- amplitudě a fázi proudů harmonických emitovaných každým odběratelem
- počtu zařízení odběratelů připojených současně k síti.

S ohledem na uvedené negativní vlivy je nutné ve smyslu ustanovení odstavce 6.4 nově připojované odběry posuzovat případ od případu a stanovit příspěvek příslušného odběratele k celkové úrovni harmonických v dané napěťové úrovni, který je měřítkem přípustnosti připojení příslušné technologie.

## 6.1 VÝPOČET IMPEDANCÍ SÍTÍ NA TÓNOVÝCH FREKVENCÍCH

Je zřejmé, že impedance el. sítí na tónových frekvencích jsou podstatně odlišné od jejich impedancí při kmitočtu 50 Hz, pro kterou je síť navržena. Zvláštní pozornost je při jejich určování nutné věnovat rezonančním jevům. V případech rezonancí sítí na frekvenci některé harmonické může její napětí nabývat obzvláště vysokých hodnot, čímž se podstatně zvyšuje nebezpečí rušení dalších odběratelů. Při určování impedance sítě ve společném napájecím bodu "V" lze v řadě případů vycházet ze zjednodušeného náhradního schématu sítě. Příklad je uveden na obr. 11. V něm je celková kapacita sítě složená z kapacit vedení a ev. kapacit kondenzátorových baterií pro kompenzaci účinníku koncentrována na přípojnicí a síť se chová jako paralelní rezonanční obvod<sup>17</sup>. Jeho induktivní reaktance je tvořena převážně reaktancí napájecího transformátoru a reaktancí vedení 110 kV, s níž je dále v sérii reaktance v nadřazeném síťovém bodu "Q" vypočtená ze zkratového výkonu. Tlumící rezistance obvodu tvoří pak zejména činné zatížení sítě. Rezananční kmitočet obvodu je dán vztahem:

$$f_{\text{rez}} \cong 50 \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}} \quad [\text{Hz, MVA, MVar}] \quad (29)$$

kde  $Q_c$  je nabíjecí výkon sítě a  $S_k$  je zkratový výkon na přípojnicí.

### 6.1.1 IMPEDANCE V NADŘAZENÉM SÍŤOVÉM BODU "Q"

V návaznosti na vztah (3) platí pro tuto impedanci

$$Z_{kQh} = h \cdot c \cdot \frac{U_n^2}{S_{kQ}} \quad [\Omega, \text{kV, MVA}] \quad (30)$$

kde  $h = \frac{f}{50}$  je poměr tónového kmitočtu k síťovému kmitočtu.

Pro další zjednodušené výpočty lze s dostatečnou přesností uvažovat pouze s induktivní složkou této impedance, která je:

<sup>17</sup> Impedanci sítě lze s větší přesností určit výpočtem na počítači pomocí vhodného programu (viz.kap.7), a tak lépe respektovat skutečné schéma sítě a závislost jejích jednotlivých komponent na frekvenci. Při realizaci tohoto záměru však obvykle vyplynou obtíže spojené se získáním věrohodných vstupních hodnot, které je třeba zadat. To platí zejména pro zátěže sítí. Impedanci zátěže na tónových frekvencích nelze jednoduše odvodit z měřených hodnot 50 Hz, které jsou obvykle k dispozici, nýbrž je potřeba hlubších znalostí o jejím charakteru (motorická, činná, kompenzace). Tento problém je obtížně řešitelný zejména v sítích vn s ohledem na značný počet transformací vn/vn a zpravidla je potřeba přistoupit k vhodnému zjednodušení náhradního schématu sítě. Z tohoto přístupu vychází i výpočty uvedené v této normě. Obecně však platí, že tam kde je k dispozici příslušná databáze sítí a znalosti v oblasti impedancí zátěže na tónových frekvencích, je výhodné uvedených programů využívat.

$$X_{kQh} \cong Z_{kQh} \quad (31)$$

### 6.1.2 IMPEDANCE TRANSFORMÁTORŮ

Impedance transformátorů pro kmitočety sítě je dána vztahy v odstavci 3.1.2.

Pro ohmický odpor transformátoru lze při zjednodušených výpočtech použít rovnici (5), případně tuto rezistanci zanedbat. Impedance transformátoru je pak přibližně rovna jeho reaktanci, t.j.

$$Z_{Th} \cong X_{Th} = h \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (32)$$

### 6.1.3 PODÉLNÁ IMPEDANCE VEDENÍ

Při jejím určování se vychází z údajů v kapitole 3.2

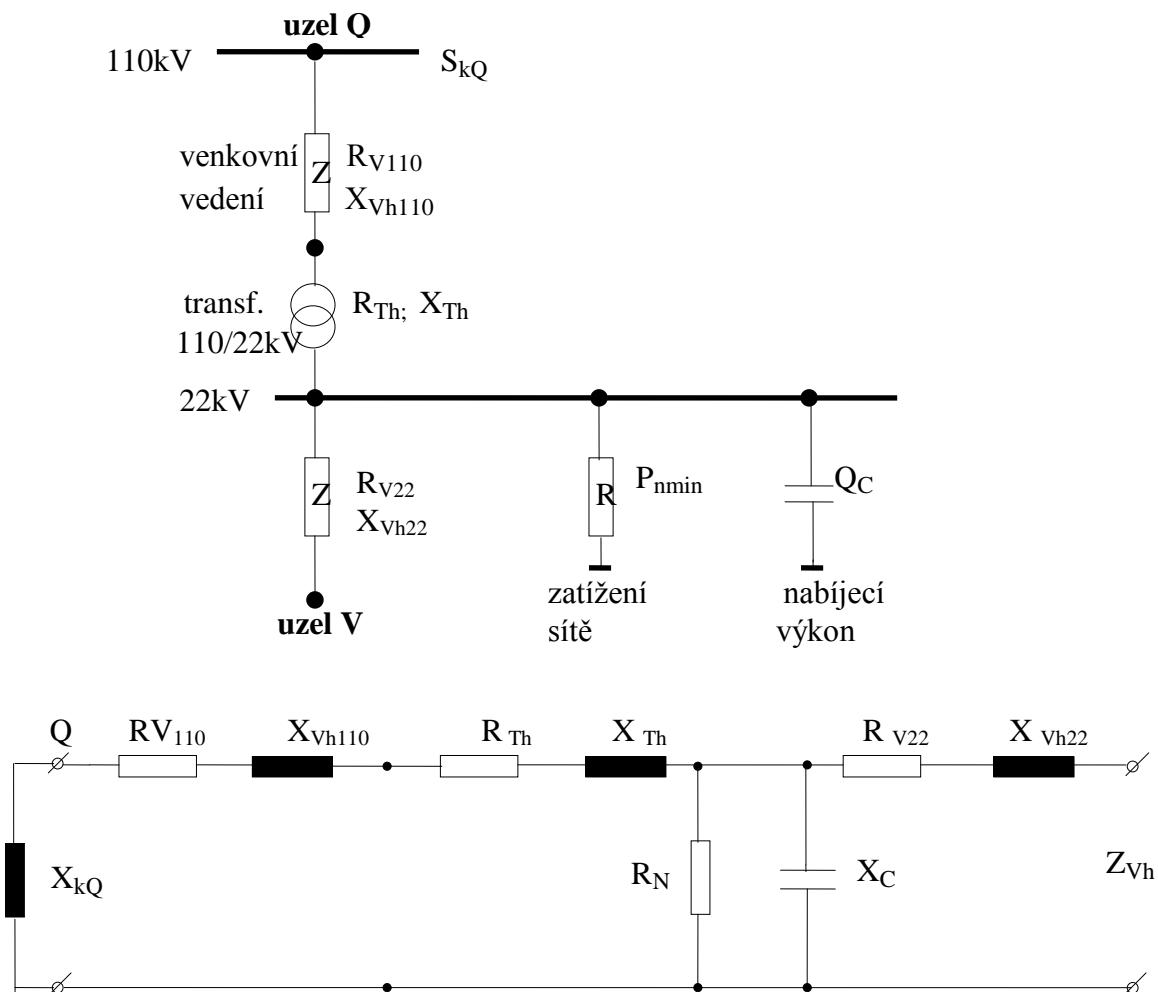
#### Rezistance vedení

Při zjednodušených výpočtech na tónových frekvencích se vliv skinefektu zpravidla neuvažuje, t.j. počítá se s hodnotami pro 50 Hz.

#### Induktivní reaktance vedení

Na tónových frekvencích se určí podle následující rovnice:

$$X_{Vh} = h \cdot X \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}] \quad (33)$$



Obr. 11 Vytvoření náhradního schématu sítě

### 6.1.4 PŘÍČNÁ IMPEDANCE VEDENÍ A KONDENZÁTORŮ

Kapacitní jalové výkony sítě  $Q_c$  jsou určeny hlavně jalovými výkony jejich vedení  $Q_v$  a jalovými výkony nehrazených kondenzátorů pro kompenzaci účinníku  $Q_k$

$$Q_c = Q_v + Q_k \quad (34)$$

Svodové odpory lze zanedbat a výsledná příčná impedance sítě je pak přibližně rovna její kapacitní reaktanci:

$$Z_c \cong X_c = \frac{1}{h} \cdot \frac{U_n^2}{Q_c} \quad [\Omega, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (35)$$

### 6.1.5 IMPEDANCE ZÁTĚŽE SÍTĚ

Velikost impedance sítě na frekvenci blízké první paralelní rezonanci závisí na tlumícím účinku ohmické zátěže. Činnou složku rozběhové impedance motorů lze zanedbat. Impedance sítě dosahuje nejvyšších hodnot při minimální činné zátěži  $P_{c \min}$ . V sítích energetiky je  $P_{c \min}$  rovno asi 2/3 minimálního zatížení sítě (cca 1/3 je motorická zátěž).

### 6.1.6 IMPEDANCE PRŮMYSLOVÝCH SÍTÍ

V případech, kdy má být připojena nová technologie do průmyslové sítě, je určení úrovně harmonických ve společném napájecím bodu komplikováno zpravidla složitým zapojením sítě průmyslového podniku. V těchto případech je potřebné zaměřit pozornost zejména na získání správných údajů o kondenzátorových bateriích pro kompenzaci účinníku a ev. filtraci harmonických, včetně variant jejich provozu. Z nich je pak potřebné vypočítat hodnoty impedance sítě pro jednotlivé harmonické. Následně se pak určí proudy těchto harmonických, které potečou do sítě energetiky v přípojném bodu. V řadě případů je část proudů harmonických pohlcována kondenzátory.

Kondenzátorová baterie pro kompenzaci účinníku, instalovaná např. v síti vn, tvoří z pohledu sítě 110 kV společně s transformátorem 110 kV/vn sériový rezonanční obvod. Pokud jeho frekvence odpovídá frekvenci některé harmonické, nebo leží-li v její blízkosti, může dojít ke zvýšení úrovně příslušné harmonické v síti vn. Z pohledu sítě vn představuje tato kondenzátorová baterie spolu s transformátorem paralelní rezonanční obvod. Za podmínek uvedených výše může být tento obvod vybuzen frekvencí příslušné harmonické.

K těmto jevům dochází rovněž u kompenzačních baterií instalovaných v sítích nn. Pro jejich zamezení se používá předřadných indukčností zapojených do série s jednotlivými kondenzátory nebo do série se skupinou kondenzátorů. Velikost těchto indukčností se volí zpravidla tak, aby rezonační frekvence kondenzátorové baterie a předřadné indukčnosti ležela pod pátou harmonickou (250 Hz).

Řada podmínek pro volbu indukčností z hlediska zpětných vlivů na signál HDO vyplývá rovněž z [19].

## 6.2 PROUDY EMITOVANÉ DO SÍTĚ

Proudy harmonických emitované do sítě připojovanou technologií, udá spolu s jejími dalšími technickými parametry odběratel. Vzhledem k tomu, že nejčastějšími zdroji harmonických jsou usměrňovače, jsou pro jejich typická zapojení udány hodnoty v následujícím.

### 6.2.1 PROUDY EMITOVANÉ DO SÍTĚ USMĚRŇOVAČI

Velikost proudů emitovaných usměrňovači do sítě závisí při jejich stejném výkonu zejména na:

- druhu komutace nebo řízení <sup>18</sup>

- počtu pulsů p; řády harmonických plynou z rovnice  $h = k \cdot p \pm 1$  (kde  $k = 1; 2; 3...$ )

V následujícím textu se používá proudů harmonických vyjádřených v procentech jmenovitého proudu  $I_n$  zařízení, tj.:

$$i_h = \frac{I_h}{I_n} \cdot 100 \quad [\%, A, A] \quad (36)$$

$$I_n = \frac{S_{odb}}{\sqrt{3} \cdot U_n} [A, VA, V] \quad (37)$$

kde  $S_{odb}$  je zdánlivý výkon zařízení a

$U_n$  jmenovité sdružené napětí sítě.

Proud emitovaný do sítě je pak:

$$I_h = \frac{S_{odb} \cdot i_h}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot 100} [A, VA, \%, V] \quad (38)$$

### 6.2.1.1 USMĚRŇOVAČE S INDUKTIVNÍ FILTRACÍ

K této skupině náleží usměrňovače pro napájení stejnosměrných motorů a usměrňovače s vyhlazovací tlumivkou ve stejnosměrném obvodu, které jsou často používány pro nejrůznější účely.

Hodnoty proudů emitovaných do sítě těmito usměrňovači lze odhadovat podle následující tabulky :

TAB. 11

h		5	7	11	13	17	19	23	25
$i_h$ (%)	Šestipulsní můstek	27	11	9	6	5	4	3	3
$i_h$ (%)	Dvanáctipulsní paralelní můstek	4	3	9	6	-	-	3	3
$i_h$ (%)	Dvanáctipulsní sériový můstek	4	3	13	6	-	-	5	3

### 6.2.1.2 USMĚRŇOVAČE S KAPACITNÍ FILTRACÍ

Tyto usměrňovače jsou masově používány v zařízeních spotřební elektroniky, počítačích, osvětlovacích tělesech, komunikačních systémech a dalších obdobných zařízeních. Proud, který odebírají ze sítě, má tvar špiček jež přibližně souhlasí s maximy sinusovky napětí a jsou způsobeny nabíjením filtračního kondenzátoru. Tyto usměrňovače produkují liché harmonické s podstatně vyšší amplitudou proti usměrňovačům s filtrací induktivní. Směrné hodnoty proudů  $i_h$  jsou uvedeny v následující tabulce 12:

TAB. 12

h		3	5	7	9	11	13
$i_h$	Jednofázový proud	95	80	70	65	62	60

<sup>18</sup> Většina zapojení důležitých z hlediska zpětných vlivů je komutována síťovou frekvencí.

[%]	Trojfázový proud	-	86	70	-	36	22
	Trojfázový proud (směrná hodnota při obvyklé předřadné indukčnosti)	-	45	25	-	9	6

### 6.2.2 JEDNOFÁZOVÉ A TŘÍFÁZOVÉ OVLADAČE

Jsou používány u zařízení nn, ručního nářadí, motorů výtahů ap. Směrné hodnoty proudů harmonických jsou uvedeny v následující tabulce 13. Hodnoty proudů jsou závislé na fázovém úhlu připojené zátěže.

TAB. 13

h		3	5	7	9	11	13
$i_h$ [%]	$\cos\varphi A = 1.0$	33	14	10	8	6	5
	$\cos\varphi A = 0.8$	23	8	3	2	2	1
	$\cos\varphi A = 0.6$	17	6	3	2	1	1

### 6.3 ČINITEL SOUFÁZNOSTI

Činitel soufáznosti  $k_{ph}$  zohledňuje tu skutečnost, že geometrický součet harmonických stejného řádu může být v důsledku jejich různé fáze menší než jejich aritmetický součet. Pro všechny typy usměrňovačů s výjimkou usměrňovačů komutovaných frekvencí sítí s kapacitní filtrací jsou zpětné vlivy na síť respektovány směrnými hodnotami činitele  $k_{ph}$  podle následující tabulky:

TAB. 14

$S_{odb}/S_{kv}$   h	3	5	7	11	13	17	19
0,001	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
0,002	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	-
0,005	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
0,010	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2
0,020	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
0,050	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Pro neřízené usměrňovače s kapacitní filtrací platí  $k_{ph} = 1$ .

V případech žádostí o připojení odběrů produkujících harmonické z jiných zdrojů než jsou usměrňovače se vychází z proudů udaných odběratelem, které se posoudí na základě zkušeností.

### 6.4 STANOVENÍ POVOLENÉHO PŘÍSPĚVKU ODBĚRATELE K ZNEČIŠTĚNÍ SÍTĚ HARMONICKÝMI

V následujícím textu jsou napětí harmonických vždy udávána v procentech jmenovitého napětí sítě. Pro toto napětí je užíváno označení " $u_h$ ". Pro kompatibilní úroveň napětí jednotlivých harmonických v sítích nn platí následující tabulka 151.



Proudy harmonických jednotlivých napět'ových úrovní tečou jednak do odběrů příslušné napět'ové úrovně a dále pak přes transformátory do vyšší a ev. nižší napět'ové úrovně. Napětí harmonických v síti vznikají společným působením všech zařízení v sítích nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí. Jedno zařízení smí tedy působit pouze zlomek přípustných úrovní harmonických.

Napětí harmonických nabývá zpravidla nejvyšších hodnot v sítích nízkého napětí, neboť zde se sčítají podíly příslušných úbytků napětí vznikající ve všech napět'ových úrovních

$$u_{hvn} + u_{hvn} + u_{hnn} \quad (39)$$

Výsledné napětí harmonických v příslušné napět'ové úrovní vzniklé společným působením proudů harmonických tekoucích do dalších napět'ových úrovní, musí být s ohledem na elektromagnetickou kompatibilitu rovno a nebo menší než je přípustná hladina pro danou napět'ovou úroveň. Proto smí každý ze tří zdrojů v jednotlivých napět'ových úrovních přispívat jen podílem:

$$u_h = k_N \cdot u_{hVT} \quad (40)$$

kde  $k_N$  je činitel napět'ové úrovně.

Hodnoty činitele  $k_N$  jsou:

$$k_{N \text{ nn}} = 0,2 \div 0,3$$

$$k_{N \text{ vn}} = 0,5 \div 0,7$$

$$k_{N \text{ vvn}} = 0,2 \div 0,3$$

Součet činitelů  $k_{N \text{ nn}} + k_{N \text{ vn}} + k_{N \text{ vvn}}$  je zpravidla roven 1 a činitelé jednotlivých napět'ových úrovní se při výpočtu volí v daném rozmezí podle zkušeností.

U harmonických, jejichž řád je dělitelný třemi, nedochází ke sčítání v různých napět'ových úrovních. Zde může být použito  $k_{N \text{ nn}} = 1$ .

Rozdělení přípustných úrovní na jednotlivé odběratele vychází ze vztahu

$$k_A = \frac{S_o}{S_T} \quad (41)$$

kde  $S_o$  - sjednaný výkon odběratele a

$S_T$  - vztažná hodnota výkonu rovná 70 % zdánlivého výkonu transformátoru napájejícího danou síť.

## 6.5 VÝPOČET ÚROVNÍ HARMONICKÝCH

Připojení odběratele je vždy přípustné, je-li splněna podmínka

$$\frac{S_{odb}}{S_{kV}} \leq \frac{1}{1000} \quad (42)$$

kde  $S_{odb}$  - zdánlivý výkon připojovaného zařízení

$S_{kV}$  - zkratový výkon ve společném napájecím bodu "V"

Pokud tato podmínka splněna není, je nutné další vyšetření. Při něm se vychází z impedance sítě pro frekvenci 50 Hz ve společném napájecím bodu "V" podle kapitoly 3.1. Dále se určí impedance sítě ve společném napájecím bodu pro jednotlivé harmonické.

Přípustná úroveň harmonických v jednotlivých napět'ových úrovních plyne z předchozího:

$$u_{hpřip} = u_{hVT} \cdot k_A \cdot k_N \quad (43)$$

$u_{hVT}$  viz tabulka 15 je hodnota daná normou [3].

TAB.15

Přípustné hodnoty  $u_{hVT}$  kompatibilní úrovně pro jednotlivé frekvence harmonických v sítích nn podle ČSN EN 1000-2-2 (efektivní hodnoty v procentech efektivní hodnoty základní složky)

<b>Liché hodnoty h nedělitelné 3</b>	
5	6,0
7	5,0
11	3,5
13	3,0
$17 \leq h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$
<b>Liché hodnoty h dělitelné 3</b>	
3	5
9	1,5
15	0,4
21	0,3
$21 \leq h \leq 45$	0,2
<b>Sudé hodnoty h</b>	
2	2,0
4	1,0
6	0,5
8	0,5
$10 \leq h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$

Skutečnou úroveň emitovanou do sítě odběratelem určíme následujícím způsobem

$$u_h = \frac{Z_h \cdot I_h \cdot k_{ph} \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{U_n} \quad [%, \Omega, A, V] \quad (44)$$

kde  $Z_h$  je impedance sítě pro příslušnou harmonickou,

$I_h$  - proud této harmonické emitovaný do sítě, -  $I_h$  se stanoví z rovnice (30).

$k_{ph}$  - činitel soufáznosti a

$U_n$  - jmenovité sdružené napětí sítě ve společném napájecím bodu.

Zařízení lze tedy připojit je-li:

$$u_h \leq u_{hpř} \quad (45)$$

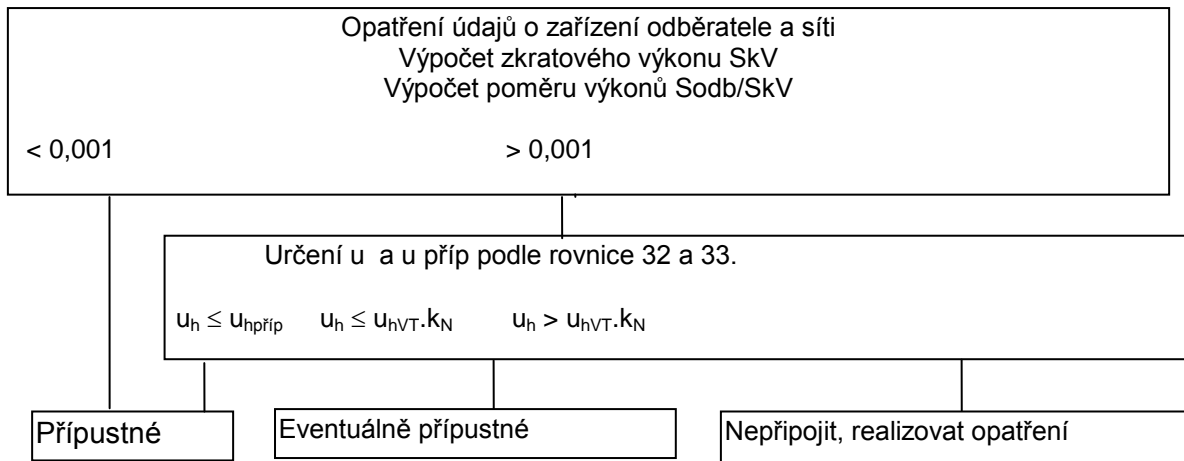
Pokud je v daném místě sítě známo, že ostatní odběratelé nevyčerpají svůj podíl na jejím znečištění, můžeme přiznat posuzovanému odběrateli vyšší úroveň harmonických a jeho technologii lze připojit i v případě, že

$$u_{hpmax} \leq u_{hVT} \cdot k_N \quad (46)$$

Podkladem pro toto rozhodnutí jsou výsledky měření úrovní jednotlivých harmonických v příslušné síti konfrontované s jejich předpokládaným vývojem do budoucna.

Další, kontrolní měření je nutné po uvedení zařízení do provozu.

V případě, že  $u_h > u_{hVT} \cdot k_N$  nelze příslušnou technologii připojit bez příslušného opatření, kterým může být např. instalace tlumivky, použití vícepulsního usměrňovače, instalace filtračního či filtračně-kompenzačního zařízení ap.

**Postup posouzení**

### 6.5.1 PŘÍKLAD PŘIPOJENÍ POHONU ŘÍZENÉHO MĚNIČEM FREKVENCE NA SÍŤ 22 KV

Odběratel požádal o připojení pohonu napájeného pomocí měniče frekvence s následujícími údaji:

Připojovací napětí

$$U_n = 22 \text{ kV}$$

Výkon měniče frekvence

$$S_{odb} = 1500 \text{ kVA}$$

Požadovaný výkon odběratele

$$S_o = 4000 \text{ kVA}$$

Údaje o usměrňovači:

Počet pulsů

$$p = 6$$

Filtrace

induktivní

Údaje o síti:

Odběrový bod je napájen ze sítě 110 kV

$$S_{kQ} = 2000 \text{ MVA}$$

se zkratovým výkonem

Přes sériové spojení

- transformátoru 110/22 kV

$$S_{nT} = 40 \text{ MVA}, P_k = 228 \text{ kW}$$

a napětí nakrátko

$$u_k = 11,5 \%$$

- venkovního vedení 22 kV délky

$$l = 3 \text{ km}$$

a průřezu

$$s = 95 \text{ mm}^2 \text{ AlFe}$$

Pro danou síť je předpokládán

$$S_T = 28 \text{ MVA}$$

vztažný výkon transformátoru

Kapacitní výkon sítě

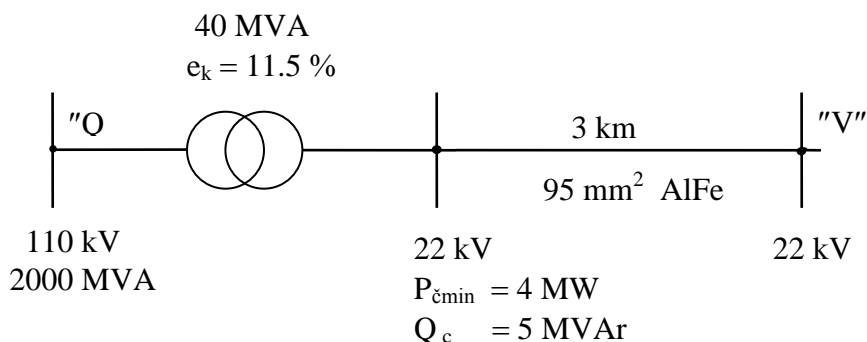
$$Q_c = 5 \text{ MVar}$$

Minimální činná zátěž v síti 22 kV

po odečtení podílu motorické zátěže

$$P_{\check{c} \text{ min}} = 4 \text{ MW}$$

#### Schéma sítě



Volíme-li  $c = 1$  dostaneme:

$$Z_{kQ} \cong X_{kQ} = \frac{U_n^2}{S_{kQ}} = \frac{22^2}{2000} = \underline{j0,242 \Omega}$$

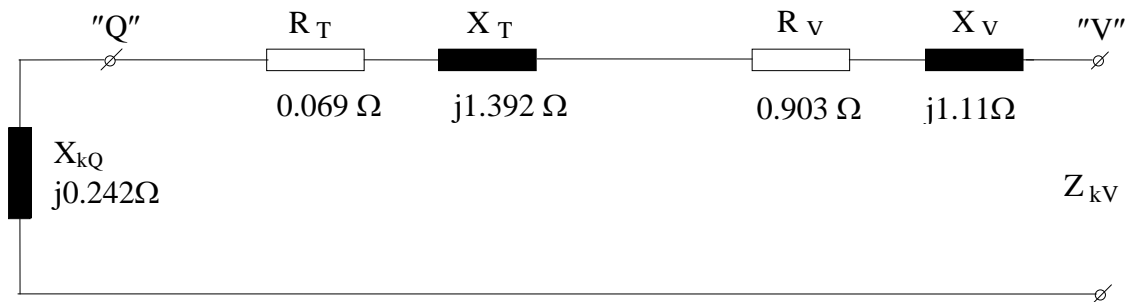
$$Z_T \cong X_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{11,5 \cdot 22^2}{100 \cdot 40} = \underline{j1,392 \Omega}$$

$$R_T = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{1000 S_{nT}^2} = \frac{228 \cdot 22^2}{1000 \cdot 40^2} = \underline{0,069 \Omega}$$

$$R_V = R \cdot I = 0,301 \cdot 3 = \underline{0,903 \Omega}$$

$$X_V = X \cdot I = 0,37 \cdot 3 = \underline{j1,11 \Omega}$$

**Náhradní schéma pro výpočet zkratového výkonu ve společném napájecím bodu "V":**



Celková zkratová reaktance ve společném napájecím bodu "V" je:

$$Z_{kV} = R_{kV} + jX_{kV} = 0,069 + 0,903 + j(0,242 + 1,392 + 1,11) = 0,972 \Omega + j2,744 \Omega$$

$$|Z_{kV}| = |0,972 + j2,744| = \sqrt{0,972^2 + 2,744^2} = 2,911 \Omega$$

$$S_{kV} = \frac{22^2}{2,911} = 166,27 \text{ MVA} = \underline{166 \text{ MVA}}$$

Poměr přípojného výkonu ke zkratovému výkonu je pak:

$$\frac{S_{odb}}{S_{kV}} = \frac{1,5}{166} \approx \frac{1}{110,67} > \frac{1}{1000},$$

je tedy potřeba dalšího vyšetření.

Výpočet impedance sítě pro jednotlivé harmonické v bodu "V":

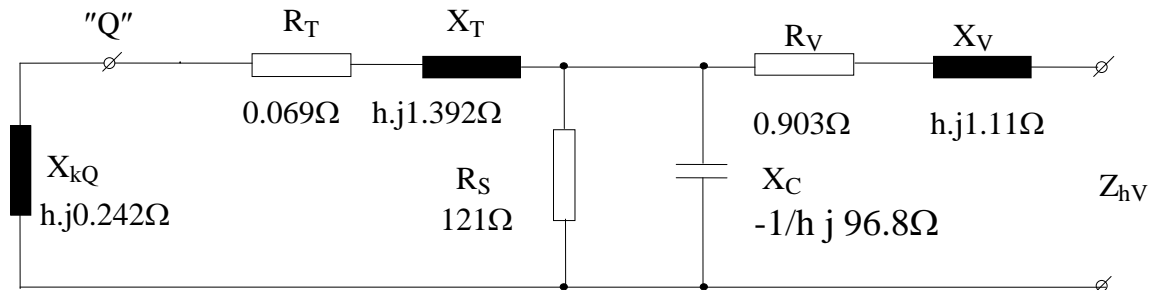
Rezistance sítě při minimálním zatížení je:

$$R_S = \frac{U_n^2}{P_{cmin}} = \frac{22^2}{4} = \underline{1210 \Omega}$$

Kapacitní reaktance sítě pro 50 Hz:

$$X_C = \frac{U^2}{Q_C} = \frac{22^2}{5} = -j96,8 \Omega$$

Náhradní schéma pro výpočet impedance sítě  $Z_{kV}$  doplníme o hodnoty  $R_S$  a  $X_C$ .



Vypočteme impedanci sítě ve společném napájecím bodu "V" pro jednotlivé harmonické:

TAB. 16

Výpočet impedance sítě ve společném napájecím bodu "V" pro $h = 5, (250 \text{ Hz})$			
Prvky náhradního schématu	Impedance [ $\Omega$ ] a její složky		Admittance [mS] a její složky
	reálná	imaginární	reálná
$X_{kQ}$ Trafo $R_T, X_T$ v sérii		$j1,21$	
Suma $R; X$	0,069	+ $j6,96$	
	$Z^2 = 66,753661$		
$R_S$ $X_C$	121,0	- $j19,36$	8,2644 $j51,6528$
Suma na sběrně	1,82664	+ $j13,89671$	9,298 - $j70,7373$
Vedení $R_V X_V$	0,903	+ $j5,55$	
Suma ve společném napájecím bodu "V"	2,72964	+ $j19,44671$	
Impedance ve společném napájecím bodu "V"	$Z_{SV} = 19,64 \Omega / 82,01$		

TAB. 17

Výpočet impedance sítě ve společném napájecím bodu "V" pro $h = 7, (350 \text{ Hz})$				
Prvky náhradního schématu	Impedance [ $\Omega$ ] a její složky		Admitance [mS] a její složky	
	reálná	imaginární	reálná	imaginární
$X_{kQ}$ Trafo $R_T; X_T$ v sérii		j1,694		
Suma R; X	0,069 +	j11,438	0,5273 -	j87,4246
$Z^2 = 130,83261$				
$R_S$ $X_C$	121,0	- j13,8285	8,2644	j72,3144
Suma na sběrně Vedení $R_V; X_V$	28,76751 + 0,903 +	j49,44241 j7,77	8,7917 -	j15,1102
Suma ve společném napájecím bodu "V"	29,67051 +	j57,212409		
Impedance ve společném napájecím bodu "V"	$Z_{SV} = 64,45 \Omega / 62,59$			

TAB. 18

Výpočet impedance sítě ve společném napájecím bodu "V" pro $h = 11, (550 \text{ Hz})$				
Prvky náhradního schématu	Impedance [ $\Omega$ ] a její složky		Admitance [mS] a její složky	
	reálná	imaginární	reálná	imaginární
$X_{kQ}$ Trafo $R_T; X_T$ v sérii		j2,662		
Suma R; X	0,069 +	j15,312	0,2135 -	j55,635
$Z^2 = 323,06944$				
$R_S$ $X_C$	121,0	- j8,8	8,2644	j113,636
Suma na sběrně Vedení $R_V; X_V$	2,4673815 - 0,903 +	j16,8804 j12,21	8,4779 +	j58,001
Suma ve společném napájecím bodu "V"	3,3703815 -	j4,67043		
Impedance ve společném napájecím bodu "V"	$Z_{SV} = 5,76 \Omega / -54,18$			

Impedance sítě pro další harmonické vypočteme stejným postupem.  
Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce

TAB. 19

h	5	7	11	13	17	19	23	25
$Z_{hv}$ [ $\Omega$ ]	19,64	64,45	5,76	3,66	11,81	15,06	20,83	23,50

Proudy  $i_h$  jednotlivých harmonických určíme pro šestipulsní můstek z tabulky 11 v odstavci 6.2.1.

$$i_5 = 27 \% ; i_7 = 11 \% ; i_{11} = 9 \% ; i_{13} = 6 \% ; i_{17} = 5 \%$$

Vypočteme proudy  $I_h$  měniče pro jednotlivé harmonické podle rovnice (30)

$$I_5 = 10,63 \text{ A}; I_7 = 4,33 \text{ A}; I_{11} = 3,54 \text{ A}; I_{13} = 2,36 \text{ A}; I_{17} = 1,97 \text{ A}$$

Vypočteme činitele  $k_A$

$$k_A = \frac{S_o}{S_T} = \frac{4000}{28000} = \dots 0,143$$

Zvolíme činitel napěťové úrovně  $k_N = 0,6$

Dosadíme do rovnice (35)

$$u_{h \text{ příp}} = u_{hVT} \cdot k_A \cdot k_N$$

dostaneme

$$u_{h \text{ příp}} = u_{hVT} \cdot 0,0858$$

Max. příp. hodnota

$$u_{h \text{ pmax}} = u_{hVT} \cdot k_N = u_{hVT} \cdot 0,6$$

Výsledky pro jednotlivé harmonické jsou v tabulce č. 20.

Skutečné úrovně harmonických určíme následujícím postupem:

Z tabulky č. 10 v kapitole 6.2.4 zjistíme hodnoty činitele soufáznosti  $k_{ph}$

Dosazením do rovnice (36) dostaneme pro pátou harmonickou:

$$u_5 = \frac{19,64 \cdot 10,63 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{22000} = 1,151\%$$

Stejným způsobem vypočteme pro ostatní harmonické následující hodnoty:

$$U_7 = 1,099\%; U_{11} = 0,064\%; U_{13} = 0,027\%; U_{17} = 0,055\%$$

Vypočtené hodnoty pro harmonické do řádu 17 jsou shrnuty v tabulce 20:

TAB. 20

h	$Z_{hp}$ [ $\Omega$ ]	$k_{ph}$	I [A]	Norm. hodnoty $u_{hVT}$ [%]	Příp. hodnoty $u_{h \text{ příp}}$ [%]	Max.příp. hodnoty $u_{h \text{ pmax}}$ [%]	Skut. Hodnoty $u_h$ [%]
5	19,64	0,7	10,63	6,0	0,515	3,6	1,151
7	64,45	0,5	4,33	5,0	0,429	3,0	1,099
11	5,76	0,4	3,54	3,5	0,300	2,1	0,064
13	3,66	0,4	2,36	3,0	0,257	1,8	0,027
17	11,81	0,3	1,97	2,0	0,172	1,2	0,055

Skutečné úrovně páté a sedmé harmonické překračují přípustné hodnoty. Pokud odběrateli nelze povolit hodnoty maximálně přípustné, nelze zařízení připojit. Odběrateli je v takovém případě vhodné doporučit 12-ti pulsní usměrňovač nebo filtrační zařízení.

## 6.6 MEZIHARMONICKÉ

Uvedeným pojmem jsou označena všechna sinusová napětí a proudy, jejichž frekvence nejsou celočíselnými násobky kmitočtu sítě. Způsobují přídavná zkreslení sinusovky síťového napětí, která na rozdíl od harmonických nejsou periodická vůči frekvenci sítě. Zdroje mezharmonických jsou např. následující zařízení:

- elektrické obloukové pece na tavení oceli
- středofrekvenční pece
- usměrňovače pro pohony
- cyklové řízení tepelných spotřebičů
- odporové svářecí stroje ap.

Dalšími zdroji mezharmonických jsou stroje s periodickými změnami zatížení s nízkou frekvencí jako např. pohony s excentry, kovářské lisy, dále pak mohou mezharmonické vzniknout v zařízeních emitujících harmonické u nichž kolísá odběr elektrické energie.

### 6.6.1 PŘÍPUSTNÉ ÚROVNĚ

Vztažná hodnota mezharmonických užívaná v dalším je vyjádřena vztahem:

$$u_m = \frac{U_m}{U_n} \cdot 100 \quad [\%, V, V] \quad (47)$$

Napětí mezharmonických je nutné omezovat zejména z následujících důvodů:

- při nepříznivé frekvenci a trvalém působení mezharmonické může dojít k flickr-efektu již při hodnotách  $u_m = 0,15 \%$
- mohou být rušeny přijímače HDO v případech, kdy sumárním působením všech rušivých frekvencí dojde k překročení prahu jejich citlivosti<sup>19</sup>.

Vzhledem k uvedené minimální prahové citlivosti přijímačů HDO byla zvolena přípustná úroveň mezharmonických

$$U_{mVT} = 0,2 \%$$

K aritmetickému sčítání úrovní napětí mezharmonických z více zdrojů v síti může dojít pouze při jejich stejné frekvenci a fázi. S ohledem na charakter těchto zdrojů (odběry z proměnným zatížením ap.) k tomu dochází jen náhodně a po krátkou dobu. Podle [21] lze při libovolném počtu zdrojů počítat maximálně s dvojnásobkem nejvyššího napětí mezharmonické.

Pokud tedy úroveň napětí mezharmonické produkované jedním zařízením nepřekročí hodnotu

$$U_{m\text{přip}} = 0,1 \%$$

lze očekávat, že nedojde k rušení. V případech, kdy energetický podnik chce připustit vyšší hodnoty, potom úrovně frekvencí, které přitom vzniknou nesmějí překračovat hodnoty kritérií pro flickr-efekt (viz kap. 4.2.) a nesmějí být v blízkosti frekvence HDO používané v příslušném energetickém podniku a v blízkosti jejích postranních pásem ležících  $\pm 100$  Hz od této frekvence HDO (viz kap. 6.8). Přitom je s ohledem na zapojení sítě nutné respektovat i frekvence HDO sousedních energetických podniků.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Minimální hodnota citlivosti přijímačů HDO podle mezinárodních doporučení je  $0,3 \%$   $U_n$ . V našich systémech HDO 217 Hz se s ohledem na přeslechy používá prahových citlivostí v okolí  $0,7 \%$   $U_n$  i více. S ohledem na přechod na další nízké frekvence v některých REAS, kdy při určování citlivosti přijímačů nehrají přeslechy roli a na návaznost na mezinárodní předpisy, se i zde uvádí práh citlivosti  $0,3\%$   $U_n$ .

<sup>20</sup> Problematika zpětných vlivů způsobených mezharmonickými se studuje.



## 6.7 ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE

### 6.7.1 SÍTĚ NN

Za předpokladu, že na síť nn napájenou z transformátoru vn/nn nejsou připojena více než dvě výrobní zařízení s celkovým výkonem maximálně 10% výkonu transformátoru, mohou být pro posouzení proudů harmonických použita následující kritéria:

$$I_h = i_h \cdot \frac{S_{kv}}{\sin \psi} \quad [A; A / MVA; ^\circ] \quad (48)$$

kde

$\psi$  - je fázový úhel zkratového výkonu ve společném napájecím bodu

$\sin \psi = X_k / Z_k$ , je-li společný napájecí bod blízko transformátoru je  $\sin \psi \approx 1$ . Vztažný proud  $i_h$  se určí z tabulky 21.

TAB. 21

Řád h	Vztažný proud $i_h$ (A/MVA)
5	3,0
7	2,5
11	1,5
13	1,0

### 6.7.2 SÍTĚ VN

Proudy harmonických a meziharmonických jsou do sítí emitovány především zařízeními pro výrobu elektrické energie se střídači nebo frekvenčními měniči. Proudy emitované do sítě těmito zařízeními lze získat na př. z protokolu výrobce o měření v rámci typové zkoušky.

Přípustné vztažné proudy harmonických a meziharmonických pro jednu síť vysokého napětí v A / MVA zkratového výkonu ve společném napájecím bodu jsou uvedeny v tabulce 22.

Pro jeden společný napájecí bod v síti vysokého napětí v němž je připojeno výrobní zařízení se přípustné proudy určí následovně:

$$I_{hpř} = i_{hpř} \cdot S_{kv} \quad [A; A / MVA; MVA] \quad (49)$$

Pokud je ve společném napájecím bodu připojeno více výrobních zařízení, vypočtou se přípustné proudy harmonických pro jednotlivá násobením poměrem zdánlivého výkonu zařízení  $S_A$  k celkovému zdánlivému výkonu  $S_{AV}$ , který je plánován, nebo který lze připojit:

$$I_{hGpř} = i_{hpř} \cdot \frac{S_G}{S_{GP}} = i_{hpř} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_G}{S_{AV}} \quad [A; A; MVA; A / MVA; MVA] \quad (50)$$

Je-li požadováno připojení více zařízení stejného typu, jako je tomu často na příklad u větrných elektráren, je možné za  $S_A$  dosadit sumární výkon těchto zařízení.

TAB. 22

Řád h,m	Přípustný emitovaný vztažený proud harmonických a meziharmonických $i_{hpř}$ [A / MVA]	
	22 kV	35 kV
5	0,058	0,037
7	0,041	0,026
11	0,026	0,016
13	0,019	0,012
17	0,011	0,007
19	0,009	0,006
23	0,006	0,004
25	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,03/h	0,019/h
m < 40	0,03/m	0,019/m
m > 40 *)	0,09/m	0,057/m

\*) Celočíslné nebo neceločíslné uvnitř pásma širokého 200 Hz

Pro harmonické jejichž řád je dělitelný třemi platí hodnoty z tabulky 22 pro nejbližší vyšší řád, pokud není nulová složka proudu přenášena do sítě .

Pro sčítání proudů harmonických emitovaných do sítě výrobními zařízeními i zařízeními zákazníků platí ve společném napájecím bodu následující pravidla:

- Střídače řízené sítí (6-ti nebo 12-ti pulsní)

Proudy harmonických typických řádů pro příslušný měnič (5, 7, 11, 13, atd) a proudy netypických nízkých řádů ( $h < 7$ ) se sčítají aritmeticky:

$$I_h = \sum_{i=1}^n I_{hi} \quad (51)$$

Pro proudy netypických vyšších řádů ( $h > 7$ ) je výsledný harmonický proud jednoho řádu roven odmocnině ze součtu kvadrátů všech harmonických proudů tohoto řádu:

$$I_h = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{hi}^2} \quad (52)$$

- Střídače s pulsní modulací

Pro řád m, který není zásadně celočíselný, ale který pro hodnoty  $m < 11$  také celočíselné hodnoty obsahuje, je výsledný proud roven odmocnině ze součtu kvadrátů proudů jednotlivých zařízení:

$$I_m = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{mi}^2} \quad (53)$$

Pokud se u těchto měničů vyskytují harmonické proudy netypických celočíselných řádů  $h < 11$ , sčítají se tyto proudy aritmeticky podle rovnice (51).

Pokud dojde k překročení přípustných proudů harmonických (nebo meziharmonických), je nutné podrobné vyšetření. Přitom musí být respektováno, že přípustné proudy uvedené v tabulce 22 platí i při vyšších frekvencích pro induktivní charakter impedance sítě, tedy na příklad pro čisté venkovní síť. V sítích se znatelným podílem kabelů je ale impedance sítě při vyšších frekvencích (především pro frekvence vyšší než 2000 Hz, tedy při  $h > 40$ ) v mnoha případech podstatně nižší než tato impedance, takže je možné připustit vyšší proudy harmonických. Předpokladem pro to je výpočet a posouzení napětí harmonických podle kapitoly 6.1 na základě skutečné impedance sítě ve společném napájecím bodu. Navíc k podmínkám stanoveným v této normě je nutné zaručit, že emitovaná napětí v daném přípojném bodě, v rozsahu frekvencí 2000 – 9000Hz, nepřekročí hodnotu 0,2%.

Je-li v síti vn více společných napájecích bodů, musí být při posuzování jednoho společného napájecího bodu brány v úvahu také ostatní napájecí body. Pak lze poměry v jedné síti vn považovat za přípustné, není-li v každém společném napájecím bodu překročena následující hodnota:

$$I_{h,přip} = I_{h,přip} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_{AV}}{S_{sít}} \quad [A; A/MVA; MVA] \quad (54)$$

kde  $S_{AV}$  je součet výkonů všech výrobních zařízení ve společném napájecím bodě a  $S_{sít}$  je výkon na který je síť navržena.

Pokud výpočet prokáže překročení přípustných proudů harmonických, není připojení výrobního zařízení zpravidla možné s výjimkou případu, kdy se podrobným výpočtem prokáže, že přípustné úrovně napětí harmonických v síti nebudou překročeny.

Pro jiné napětí sítě je možné hodnoty z tabulky 22 přepočítat proporcionalně s poměrem napětí.

## 6.8 ZPĚTNÉ VLIVY NA ZAŘÍZENÍ HDO A RUŠENÍ SIGNÁLEM HDO

Provoz systémů HDO přináší sebou z hlediska zpětných vlivů oba zmíněné aspekty, tj. jednak zpětné vlivy odběratelů a výrobců elektřiny na provoz systémů HDO, a jednak rušení odběratelů signálem HDO. Vzhledem k šíři problematiky byla pro posouzení zpracována norma [19].

Aby byla zaručena spolehlivá funkce systému HDO, musí být v elektrické síti, která slouží pro signály HDO jako přenosová cesta, zajištěna taková napěťová úroveň signálů tónové frekvence, která s dostatečnou rezervou převyšuje náběhové napětí přijímačů. Zařízení odběratelů nesmí nepřípustnou měrou snižovat či zvyšovat úroveň signálu HDO a emitovat rušivá napětí (harmonické a meziharmonické) s frekvencemi ležícími v oblasti frekvence HDO používané v daném REP.

K rušení přijímačů HDO může dojít i vlivem modulačních efektů mezi rušivými signály a frekvencí sítě vznikajících na nelinearitách v síti. Jejich napěťová úroveň je úměrná velikosti rušivého signálu a nelinearity sítě, kterou lze s dostatečnou přesností charakterizovat úrovní páté a sedmé harmonické v příslušném místě sítě. Je tedy potřeba sledovat i rušivé emise odběratelů na frekvencích  $f_{HDO} \pm 50$ ;  $\pm 100$  a  $\pm 200$  Hz. Největší nebezpečí rušení způsobují frekvence  $f_{HDO} \pm 100$  Hz.

Rušivá napětí na frekvenci HDO nebo v její bezprostřední blízkosti způsobená zařízením odběratele nesmí překročit hodnotu 0,1 %  $U_n$  [19].

Rušivá napětí na frekvencích  $f_{\text{HDO}} \pm 100$  Hz nebo v jejich bezprostřední blízkosti nesmí být vyšší než 0,3 %  $U_n$  [19].

Oblast bezprostřední blízkosti frekvence HDO je dána šířkou pásma použitých přijímačů HDO.

Zařízení odběratelů a dodavatelů energie (zejména generátory) nesmí nepřipustnou měrou zatěžovat vysílače HDO.

Nepříznivě se generátory velkých výkonů (vztaženo k výkonu transformátoru napájecího sítě) projevují u frekvencí HDO v okolí 200 Hz. Posuzování přípustnosti jejich připojení k sítím vychází z výpočtů šíření signálů HDO.

Změny úrovně signálu HDO jsou rovněž způsobeny kondenzátorovými bateriemi pro kompenzaci účinníku. Z těchto důvodů je nutné klást určité podmínky pro jejich připojování k sítím. Z nich v závislosti na použité frekvenci HDO plyne potřeba hrazení těchto kondenzátorů nebo předřazování indukčností.

Kondenzátory usměrňovačů s kapacitní filtrací jsou po dobu nabíjení připojeny k síti (viz 6.2.1.2) a mohou tudíž ovlivňovat úroveň signálu HDO, zejména u vyšších frekvencí.

Pro zamezení rušení zařízení odběratelů připojených k síti nesmí úroveň signálu HDO překračovat hodnoty uvedené v [19] a [29].

## 7. VÝPOČETNÍ PROGRAMY PRO URČENÍ ZPĚTNÝCH VLIVŮ

K usnadnění, urychlení, a zpřesnění výpočtů zpětných vlivů se doporučuje používat vhodné výpočetní programy, ať již běžné universální jako jsou programy pro výpočty chodu sítě nebo speciální programy vytvořené pro zpětné vlivy.

Universální programy jsou bez větších problémů použitelné pro určení napěťových změn, vyvolaných připojením nového odběratele, popř. napěťových poklesů při zapínání spotřebičů. Pro výpočet dalších zpětných vlivů, navazujících na tyto napěťové změny jako např. flickr však vybavené nejsou. Při výpočtech impedancí sítě na frekvencích harmonických a meziharmonických respektují tyto programy na rozdíl od zjednodušených výpočtů kromě dalšího též závislost ohmické složky impedance na frekvenci.

Speciální programy pro zpětné vlivy, využitelné pro jejich posuzování ve smyslu této normy mají vycházet z těchto zásad:

- pro výpočty zkratových výkonů, zkratových proudů nebo impedancí v místě připojení posuzovaného odběru se použijí minimální hodnoty zkratových výkonů (proudů) nebo maximální hodnoty impedancí soustavy podle části 3,

- pro impedance parametrů jednotlivých částí soustavy se použijí obvyklé hodnoty podle údajů používané při síťových výpočtech, podle podkladů výrobce nebo podle norem. U impedancí sítě na tónových frekvencích lze u nízkých frekvencí harmonických vycházet z údajů v kapitole 6. Výhodnější je ale využívat přesnější vztahy, které lépe respektují závislost impedancí na frekvenci a jsou obvykle součástí programu. U charakteristických hodnot zařízení odběratele je zapotřebí vycházet z podkladů předaných zřizovatelem, projektantem nebo výrobcem. Jedním z výstupů výpočetního programu musí být vždy přehled použitých vstupních hodnot.

- pro výpočet relativní změny napětí a činitele flickru se využije vztahů, přípustných hladin napěťových změn pro pravoúhlé změny i závislostí činitelů tvarů pro různé případy napěťových změn, i přípustných hodnot uvedených v části 4,

- pro výpočet vlivu harmonických, meziharmonických a vlivů na zařízení HDO se vychází ze vztahů a mezi uvedených v části 6.

Vzhledem k případné potřebě individuálního posouzení přípustnosti připojení s ohledem na místní síťové poměry je zapotřebí, aby výpočetní programy poskytovaly nejen porovnání s mezemi, ale i velikosti hodnot jednotlivých posuzovaných vlivů.